

การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยคำนึงถึงแรงดันตกชั่วขณะ



นาย ญัฐวุฒิ จินตวิวัฒน์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1823-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM
WITH VOLTAGE SAG CONSIDERATION



Mr. Nattawut Jintawiwat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1823-3

ณัฐวุฒิ จินตวิวัฒน์ : การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยคำนึงถึงแรงดันตกชั่วขณะ(RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM WITH VOLTAGE SAG CONSIDERATION) อ.ที่ปรึกษา:รศ.ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 190 หน้า ISBN 974-17-1823-3

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลโดยคำนึงถึงแรงดันตกชั่วขณะและการทำงานร่วมกันของ อุปกรณ์ป้องกันด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล วิธีการที่นำเสนอเป็นการพิจารณาถึงเหตุการณ์ที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบ โดยชนิดความผิดปกติที่พิจารณาได้แก่ ความผิดปกติแบบ 3 เฟสซึ่งเป็นการความผิดปกติที่ส่งผลกระทบต่อระบบแรงที่สูงสุดและความผิดปกติแบบ 1 เฟสซึ่งเป็นการความผิดปกติที่พบมากที่สุด เหตุการณ์ที่ได้จากการจำลองเหล่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าแรงดัน ณ จุดโหลดต่าง ๆ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การเกิดข้อขัดข้องของจุดโหลด รวมไปถึงการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัวเพื่อนำไปใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการพิจารณาว่าจะตัดวงจรหรือไม่ ในการศึกษาปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเพื่อพิจารณาผลที่เกิดขึ้น สำหรับอุปกรณ์ป้องกันที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย รีเลย์แรงดันต่ำเกิน เซอร์คิตเบรกเกอร์ และ รีโครสเซอร์ โดยการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับระบบทดสอบ RBTS บัส 2 (Roy Billinton test system : bus 2) และ ระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งแสดงอยู่ในรูปของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ทั้งในส่วนที่คำนึง และไม่คำนึงถึงแรงดันตก จากการทดสอบและการปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ระดับต่างๆทำให้สามารถนำค่าดัชนีต่างๆที่ได้ไปใช้ในประกอบการตัดสินใจในการปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ต่ออยู่ในระบบทั้งของทางกรไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการหาจุดที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ในระบบอีกด้วย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

447-03025-21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS : ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM / MONTE CARLO SIMULATION/
RELIABILITY ANALYSIS / VOLTAGE SAG

NATTAWUT JINTAWIWAT : RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL DISTRIBUTION
SYSTEM WITH VOLTAGE SAG CONSIDERATION.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. DR. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D.

190 pp. ISBN 974-17-1823-3

This thesis presents reliability analysis of radial electrical distribution systems with under voltage consideration and cooperation of protective devices. The reliability indices were calculated by Monte Carlo simulation, which takes into account 2 types of short circuit, i.e. three phase fault and single line to ground fault. For each fault type, bus voltages are calculated and compared to a prespecified interruption criteria and operating time of protective devices to decide load point interruption. In this thesis operating conditions of protective devices, i.e. circuit breakers, under voltage relays and reclosers are varied and analyzed. The proposed method has been tested with RBTS bus 2 and a Provincial Electricity Authority (PEA) modified test system.

Two types of reliability indices, with and without under voltage considerations, are calculated. With the proposed method, the obtained indices and results could be used to support utility planning and to make recommendation for particular customers for proper coordination between their and utility's protection system, and to make recommendation for optimal coordination of utility's protective devices.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Electrical Engineering.....Student's signature.....

Field of study.....Electrical Engineering.....Advisor's signature.....

Academic year.....2002.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย คุณพงษ์ศักดิ์ หาญบุญญานนท์ อาจารย์ ดร.เนบบุญ หุนเจริญ ที่ได้เสียสละเวลา ตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ คุณณรงค์ ตันติฉายากร ที่ให้คำแนะนำและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนเพื่อน พี่น้อง ทุก ๆ คนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นาย ฉัฐวุฒิ จินตวิวัฒน์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูปภาพ..... | น |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 4 |
| 1.3 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์..... | 4 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| 1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน..... | 5 |
| 1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... | 5 |
| 2. แบบจำลองของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... | 7 |
| 2.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... | 8 |
| 2.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล..... | 8 |
| 2.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน..... | 9 |
| 2.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห..... | 10 |
| 2.2 อุปกรณ์หลักในระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... | 11 |
| 2.3 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์..... | 12 |
| 2.4 เกณฑ์การเกิดข้อขัดข้อง(Interruption criterion)..... | 13 |
| 3. วิธีการประเมินค่าความเชื่อถือได้..... | 16 |
| 3.1 วิธีการวิเคราะห์(Analytical method)..... | 16 |
| 3.2 วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล(Monte Carlo Simulation)..... | 16 |
| 3.3 การสุ่มตัวเลข(Random number generation)..... | 18 |
| 3.4 การเปลี่ยนค่าตัวเลขที่สุ่มมาได้(Conversion of uniform random number)..... | 18 |
| 3.5 กระบวนการในการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล..... | 21 |
| 3.6 จำนวนรอบของการจำลองเหตุการณ์(Number of simulation)..... | 22 |

สารบัญ (ต่อ)

ช

| บทที่ | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4. การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าโดยใช้วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล..... | 24 |
| 4.1 คำจำกัดความ..... | 24 |
| 4.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด(Reliability indices at load point)..... | 24 |
| 4.3 ดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า(Customer-oriented indices)..... | 26 |
| 4.4 การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังโดยใช้วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล..... | 28 |
| 4.5 วิธีการคำนวณแรงดันที่จุดโหลด..... | 32 |
| 4.5.1 การนำเสนอระบบ(System Representation)..... | 32 |
| 4.5.2 กระแสและแรงดันผิดพลาด..... | 33 |
| 4.6 การคำนวณการลัดวงจรสำหรับเครือข่ายแบบ 3 เฟสสมมูลโดยใช้ Z_{BUS} | 35 |
| 4.6.1 การแปลงไปเป็น Symmetrical components..... | 35 |
| 4.6.2 การผิดพลาดแบบ 3 เฟส(3-phase-to-ground fault)..... | 37 |
| 4.6.3 การผิดพลาดแบบ 1 เฟส(Line-to-ground fault)..... | 38 |
| 5. การตั้งค่ารีเลย์แรงดันต่ำเกินของโรงงานอุตสาหกรรม..... | 41 |
| 5.1 รีเลย์ป้องกัน(Protective relay)..... | 41 |
| 5.2 การตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินของโรงงานอุตสาหกรรม..... | 48 |
| 6. การทดสอบและการวิเคราะห์ผล..... | 50 |
| 6.1 ระบบทดสอบ..... | 50 |
| 6.1.1 ระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)..... | 50 |
| 6.1.2 ระบบทดสอบ RBTS Bus 2..... | 51 |
| 6.2 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus 2..... | 53 |
| 6.3 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus 2 ต่อระดับแรงดันตก..... | 55 |
| 6.4 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus 2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C และเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานที่เวลาคงที่..... | 62 |
| 6.5 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus 2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C และเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse type)..... | 75 |

สารบัญ (ต่อ)

ฉ

| บทที่ | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 6.6 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus 2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C และเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse type) โดยมีการติดตั้งรีโครสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันในระบบ..... | 75 |
| 6.7 การปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันในระบบให้เหมาะสม (Optimal coordination) ของระบบทดสอบ RBTS Bus 2..... | 92 |
| 6.8 ผลการทดสอบกับระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) | 93 |
| 7. สรุปและข้อเสนอแนะ..... | 99 |
| 7.1 สรุปผลการวิจัย..... | 99 |
| 7.2 ข้อเสนอแนะและงานที่ควรจะดำเนินการต่อไป..... | 101 |
| รายการอ้างอิง..... | 102 |
| ภาคผนวก..... | 104 |
| ก. ผลการทดสอบกับระบบทดสอบ RBTS Bus 2..... | 105 |
| ก.1 ผลการทดสอบสำหรับระบบทดสอบ RBTS Bus 2 ต่อระดับแรงดันตก..... | 105 |
| ก.2 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus 2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C และเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานที่เวลาคงที่..... | 116 |
| ก.3 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus 2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C และเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse type)..... | 143 |
| ก.4 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus 2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C และเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse type) โดยมีการติดตั้งรีโครสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันในระบบ..... | 158 |
| ข. ผลการทดสอบกับระบบทดสอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)..... | 174 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 190 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.1 ตารางข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ในระบบตัวอย่าง..... | 25 |
| 4.2 ตารางดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดของระบบตัวอย่าง..... | 26 |
| 6.1 ตารางค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบทดสอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค..... | 51 |
| 6.2 ตารางประเภท จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค..... | 51 |
| 6.3 ตารางค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบทดสอบบัส 2..... | 52 |
| 6.4 ตารางประเภท จำนวน และขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบบัส 2..... | 53 |
| 6.5 ตารางข้อมูลความยาวฟีดเดอร์ของระบบทดสอบบัส 2..... | 53 |
| 6.6 ตารางผลการคำนวณ โดยวิธีการวิเคราะห์และวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล..... | 54 |
| 6.7 ตารางเปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า..... | 55 |
| 6.8 ตารางแสดงค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI ซึ่งจุดโหลดสามารถทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 58 |
| 6.9 ตารางแสดงค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI ซึ่งจุดโหลดสามารถทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส..... | 58 |
| 6.10 ตารางเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟในกรณีพื้นฐานกับกรณีที่ทนต่อระดับแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 59 |
| 6.11 ตารางเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟในกรณีพื้นฐานกับกรณีที่ทนต่อระดับแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส..... | 59 |
| 6.12 ตาราง แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 64 |
| 6.13 ตาราง แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 2 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 64 |

สารบัญตาราง(ต่อ)

ฉ

| ตารางที่ | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 6.14 ตาราง แสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 3 วินาทีสำหรับการ ผิดพร้อมแบบ 3 เฟส..... | 64 |
| 6.15 ตารางแสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 1 วินาทีสำหรับการ ผิดพร้อมแบบ 1 เฟส..... | 67 |
| 6.16 ตาราง แสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 1 วินาทีสำหรับการ ผิดพร้อมแบบ 3 เฟส..... | 70 |
| 6.17 ตาราง แสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 1 วินาทีสำหรับการ ผิดพร้อมแบบ 1 เฟส..... | 72 |
| 6.18 ตารางแสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่าTime multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆโดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพร้อมแบบ 3 เฟส..... | 77 |
| 6.19 ตารางแสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่าTime multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพร้อมแบบ 3 เฟส..... | 79 |
| 6.20 ตารางแสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick upที่ค่าต่างๆโดยค่า Time multiplierของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน 0.1และค่าTime multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 0.6..... | 85 |
| 6.21 ตารางแสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่าTime multiplier ที่ค่าต่างๆโดยค่าแรงดันPick upของรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ 0.90 p.u. ค่าTime multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 0.6..... | 87 |
| 6.22 ตารางแสดงค่า <i>SAIFI</i> และ <i>SAIDI</i> ที่การปรับตั้งค่าTime multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆโดยค่า แรงดัน Pick upของรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.1..... | 89 |
| 6.23 ตารางแสดงค่า <i>SAIFI</i> ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่าง ๆ กัน..... | 92 |

สารบัญตาราง(ต่อ)

ฎ

ตารางที่

หน้า

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.24 ตาราง แสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และ $SAIDI$ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าTime multiplier 0.1และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ..... | 94 |
| 6.25 ตารางแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และ $SAIDI$ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าTime multiplier 0.1และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ..... | 95 |
| 6.26 ตารางแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และ $SAIDI$ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 1.0 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าTime multiplier 0.1และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ..... | 96 |
| ก.1 ตารางผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. สำหรับการผัดพ่วง แบบ 3 เฟส..... | 105 |
| ก.2 ตารางผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.6 p.u. สำหรับการผัดพ่วง แบบ 3 เฟส..... | 106 |
| ก.3 ตารางผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. สำหรับการผัดพ่วง แบบ 3 เฟส..... | 107 |
| ก.4 ตารางผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.8 p.u. สำหรับการผัดพ่วง แบบ 3 เฟส..... | 108 |
| ก.5 ตารางผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.9 p.u. สำหรับการผัดพ่วง แบบ 3 เฟส..... | 109 |
| ก.6 ตารางผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. สำหรับการผัดพ่วง แบบ 1 เฟส..... | 110 |
| ก.7 ตารางผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.6 p.u. สำหรับการผัดพ่วง แบบ 1 เฟส..... | 111 |

ตารางที่

หน้า

ข.9 ตารางผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้
ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น
0.90 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า
Time multiplier เป็น 1.0..... 183



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 ประเภทของความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง..... | 2 |
| 1.2 การแบ่งระดับชั้นความเชื่อถือได้..... | 2 |
| 2.1 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล..... | 8 |
| 2.2 ระบบจำหน่ายแบบวงแหวน..... | 9 |
| 2.3 ระบบจำหน่ายแบบร่างแห..... | 10 |
| 2.4 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์..... | 11 |
| 2.5 เกณฑ์การเกิดข้อขัดข้อง (Interruption criterion)..... | 14 |
| 2.6 ตัวอย่างกราฟแรงดันตกสูงสุดโดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้องขึ้น..... | 15 |
| 3.1 กราฟที่แสดงลักษณะของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของข้อมูล ที่มีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยมีค่า $1/\lambda = 3650$ วัน..... | 19 |
| 3.2 กราฟที่แสดงลักษณะของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของข้อมูล ที่มีการกระจายแบบไวบูลล์ (Weibull) โดยมีค่า $\alpha = 4$ โดยมีค่า $\beta = 3650$ วัน..... | 20 |
| 3.3 แสดงลำดับการทำงานของระบบที่มีอุปกรณ์แบบซ่อมแซมได้ 2 ตัว..... | 22 |
| 4.1 ตัวอย่างของระบบที่มีสายส่งไฟฟ้าแบบเรเดียลและมีจุดโหลด 3 จุด..... | 25 |
| 4.2 ขั้นตอนการคำนวณ..... | 30 |
| 4.3 รูปตัวแทนระบบ 3 เฟสในระบบไฟฟ้ากำลัง..... | 32 |
| 4.4 ระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟสสำหรับการศึกษาคircuitวงจร..... | 32 |
| 4.5 การนำเสนอระบบไฟฟ้า 3 เฟส ที่เกิดข้อผิดพลาด ณ บัส p..... | 33 |
| 5.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกัน..... | 41 |
| 5.2 รีเลย์เปรียบเทียบกระแสในวงจรถานาน..... | 42 |
| 5.3 การเปรียบเทียบกระแสผลต่าง..... | 43 |
| 5.4 การเปรียบเทียบมุมเฟส..... | 44 |
| 5.5 Block diagram ของ Digital relay..... | 46 |
| 5.6 ตำแหน่งการติดตั้งรีเลย์แรงดัน..... | 47 |
| 5.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C..... | 48 |
| 5.8 กราฟลักษณะการทำงานของรีเลย์แรงดันตกรุ่น SPAU 121C..... | 49 |
| 6.1 ระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค..... | 50 |
| 6.2 ระบบทดสอบ RBTS BUS2..... | 52 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 56 |
| 6.4 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 56 |
| 6.5 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.9 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 56 |
| 6.6 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 57 |
| 6.7 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 57 |
| 6.8 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.9 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 57 |
| 6.9 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ระดับแรงดันตกต่างๆในกรณีการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส.. | 59 |
| 6.10 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ระดับแรงดันตกต่าง ๆ ในกรณีการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส. | 60 |
| 6.11 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p, SAIFI$ และผลของแรงดันตกของระดับแรงดันตก ที่ค่าต่างๆกันในกรณีการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 60 |
| 6.12 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p, SAIFI$ และผลของแรงดันตกของระดับแรงดันตก ที่ค่าต่างๆกันในกรณีการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 60 |
| 6.13 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ของระดับแรงดันตกที่ค่าต่างๆกันในกรณีการผิดพ่วง แบบ 3 เฟสเปรียบเทียบกับกรณีการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 60 |
| 6.14 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์ แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับ การผิดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 63 |
| 6.15 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์ แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.4 สำหรับ การผิดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 63 |
| 6.16 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์ แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 1.0 สำหรับ การผิดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 63 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า λ_p กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1,2 และ 3 วินาที โดยรีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 1.0 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 65 |
| 6.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1,2 และ 3 วินาที โดยรีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 1.0 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 65 |
| 6.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1,2 และ 3 วินาที โดยรีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 1.0 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 65 |
| 6.20 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส..... | 66 |
| 6.21 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.4 สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส..... | 66 |
| 6.22 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 1.0 สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส..... | 66 |
| 6.23 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 67 |
| 6.24 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส..... | 67 |
| 6.25 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI _p , SAIFI และค่าผลของแรงดันตก ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส..... | 68 |
| 6.26 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI _p , SAIFI และค่าผลของแรงดันตก ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส..... | 68 |
| 6.27 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินค่าต่างๆ เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีของการผัดพ่องแบบ 3 เฟสเปรียบเทียบกับผัดพ่องแบบ 1 เฟส..... | 68 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.28 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ้องแบบ 3 เฟส..... | 69 |
| 6.29 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.80 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ้องแบบ 3 เฟส..... | 69 |
| 6.30 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.70 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ้องแบบ 3 เฟส..... | 70 |
| 6.31 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ Time multiplier 0.1และแรงดัน Pick up ค่าต่างๆกัน สำหรับการผัดพ้องแบบ 3 เฟส..... | 70 |
| 6.32 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ้องแบบ 1 เฟส..... | 71 |
| 6.33 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.80 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ้องแบบ 1 เฟส..... | 71 |
| 6.34 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.70 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ้องแบบ 1 เฟส..... | 71 |
| 6.35 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ Time multiplier 0.1และแรงดัน Pick up ค่าต่างๆกัน สำหรับการผัดพ้องแบบ 1 เฟส..... | 72 |
| 6.36 แผนภูมิแท่งแสดงค่า <i>SAIFI</i> ที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ้องแบบ 3 เฟส..... | 72 |
| 6.37 แผนภูมิแท่งแสดงค่า <i>SAIFI</i> ที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ้องแบบ 1 เฟส..... | 73 |
| 6.38 แผนภูมิแท่งแสดงค่า <i>SAIFI_p</i> , <i>SAIFI</i> และค่าผลของแรงดันตกที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่าง ๆ กันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ้องแบบ 3 เฟส..... | 73 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.39 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตกที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่าง ๆ กันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 73 |
| 6.40 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ ที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินค่าต่างๆ เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีของการผัดพ่วงแบบ 3 เฟสเปรียบเทียบกับ การผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 74 |
| 6.41 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.1 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 76 |
| 6.42 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 76 |
| 6.43 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 77 |
| 6.44 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 78 |
| 6.45 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.1 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 78 |
| 6.46 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 78 |
| 6.47 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 79 |
| 6.48 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 80 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.49 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ ที่ปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 80 |
| 6.50 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ ที่ปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 80 |
| 6.51 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตกเมื่อปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟส..... | 81 |
| 6.52 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตกเมื่อปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 81 |
| 6.53 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ เมื่อปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 ของการผัดพ่วงแบบ 3 เฟสเปรียบเทียบกับผัดพ่วงแบบ 1 เฟส..... | 81 |
| 6.54 ระบบทดสอบ RBTS BUS2 เมื่อทำการติดตั้งรีโครสเซอร์..... | 83 |
| 6.55 ลักษณะการทำงานของรีโครสเซอร์ที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์..... | 83 |
| 6.56 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟสในระบบที่มีรีโครสเซอร์..... | 84 |
| 6.57 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.80 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟสในระบบที่มีรีโครสเซอร์..... | 84 |
| 6.58 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.70 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟสในระบบที่มีรีโครสเซอร์..... | 84 |
| 6.59 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ที่ค่าต่างๆ โดยค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน 0.1 และค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 0.6..... | 85 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.60 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ ที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.6..... | 85 |
| 6.61 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และผลของแรงดันตกที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.6..... | 86 |
| 6.62 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1 | 86 |
| 6.63 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.4 | 86 |
| 6.64 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 1.0 | 87 |
| 6.65 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกัน และเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.6..... | 87 |
| 6.66 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และผลของแรงดันตกที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.6 | 88 |
| 6.67 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.3 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1..... | 88 |
| 6.68 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.5 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1..... | 88 |
| 6.69 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1..... | 89 |
| 6.70 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier ค่าต่าง ๆ รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1..... | 89 |
| 6.71 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ ที่ตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.1..... | 90 |
| 6.72 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และผลของแรงดันตกที่ตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.1..... | 90 |
| 6.73 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 93 |
| 6.74 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 94 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.75 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 1.0 รีเลย์แรงดัน ต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 94 |
| 6.76 แผนภูมิแท่งแสดงค่า <i>SAIFI</i> กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 95 |
| 6.77 แผนภูมิแท่งแสดงค่า <i>SAIFI</i> กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 96 |
| 6.78 แผนภูมิแท่งแสดงค่า <i>SAIFI</i> กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 1.0 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 96 |
| 6.79 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, <i>SAIFI</i> และผลของแรงดันตกกรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และ แรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 96 |
| 6.80 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, <i>SAIFI</i> และผลของแรงดันตกกรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และ แรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 97 |
| 6.81 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, <i>SAIFI</i> และผลของแรงดันตกกรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานที่ค่า Time multiplier 1.0 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และ แรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน..... | 97 |
| ค.1 รูปแสดงลักษณะของระบบก่อนที่จะมีการเพิ่มขึ้นส่วน..... | 184 |
| ค.2 รูปแสดงการเพิ่ม branch เข้าสู่ระบบ..... | 184 |
| ค.3 รูปแสดงการเพิ่ม link เข้าสู่ระบบ..... | 184 |

บทที่ 1

บทนำ

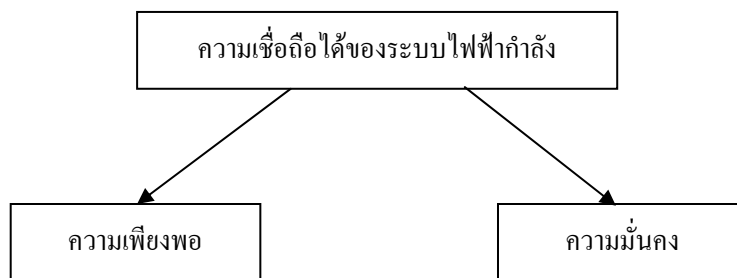
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ การขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมักส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟในแต่ละพื้นที่ ทั้งด้านความมั่นคงปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินและในทางด้านจิตวิทยาของมนุษย์ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมและการดำเนินธุรกิจในกิจการธุรกิจและการพาณิชย์ ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมภายในประเทศมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่วนใหญ่รับไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นเมื่อเกิดการขัดข้องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าย่อมส่งผลกระทบต่อโรงงานอุตสาหกรรมทำให้เกิดการหยุดชะงักในการผลิตสินค้า วัตถุดิบและเครื่องจักรได้รับความเสียหาย เสียค่าใช้จ่ายแรงงานโดยไม่มีการทำงานตอบแทน และสูญเสียรายได้จากการดำเนินธุรกิจส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของโรงงานอุตสาหกรรมทำให้ต้นทุนการผลิตที่เป็นปัจจัยสำคัญในการแข่งขันทางการค้ามีค่าสูงขึ้น

คุณภาพของพลังงานไฟฟ้าเริ่มเป็นประเด็นที่สำคัญที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการนอกเหนือไปจากปริมาณที่ต้องการให้ได้อย่างเพียงพอทั้งในผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มอุตสาหกรรม ธุรกิจและบ้านที่อยู่อาศัย โดยทั่วไปผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการระบบไฟฟ้ากำลังที่มีความเชื่อถือได้สูงซึ่งหมายถึงการมีไฟฟ้าดับน้อยที่สุดหรือไฟฟ้าตกหรือกระพริบน้อยที่สุด

ความเชื่อถือได้ (Reliability) เป็นเรื่องของการคาดการณ์ล่วงหน้าถึงเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตโดยอาศัยวิธีทางสถิติมาใช้ในการประเมินถึงโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น กระแสไฟฟ้าขัดข้องบ่อยมากน้อยเพียงใด ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบและคุณภาพของระบบเอง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการวางแผน ออกแบบระบบไฟฟ้า โดยการกำหนดคุณภาพตัวอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบไฟฟ้า โดยทั่วไประดับของความเชื่อถือได้ดังกล่าวสามารถประเมินได้โดยอาศัยกฎเกณฑ์ออกมาเป็นค่าดัชนีต่าง ๆ โดยระบบจำหน่ายประกอบด้วยค่าดัชนี SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), SAIDI (System Average Interruption Duration Index) เป็นต้น

ความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านความเพียงพอ (Adequacy) และด้านความมั่นคง (Security) [1,2]



รูปที่ 1.1 ประเภทของความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง

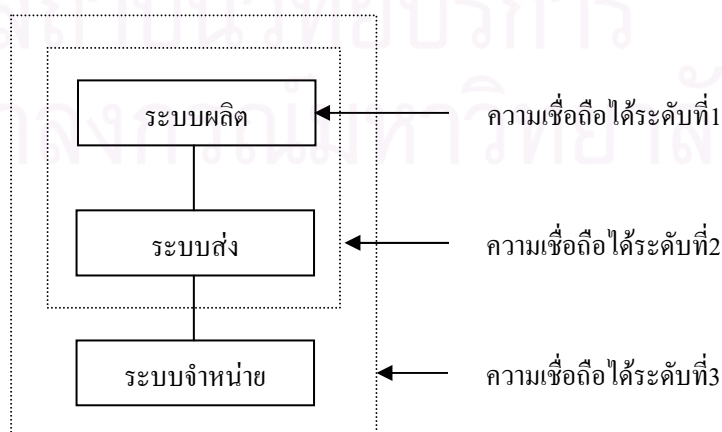
ความเพียงพอ (Adequacy) หมายถึง ความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าและพลังงานทั้งหมดอย่างเพียงพอ ในที่นี้ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้าที่จำเป็นต้องมีเพื่อผลิตพลังงานได้อย่างเพียงพอ , ระบบสายส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อนำพลังงานไปยังความต้องการทุก ๆ จุดในระบบ ความเพียงพอนี้จะเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขแบบสถิตย์ (Static Conditions) ซึ่งไม่ได้ครอบคลุมถึงเหตุการณ์รบกวน (Disturbances) และผลที่จะเกิดขึ้นตามในระบบ

ความมั่นคง (Security) หมายถึง ความสามารถของระบบที่จะตอบสนองหรือทนทานต่อเหตุการณ์รบกวนที่เกิดขึ้นซึ่งอาจเป็นประเภทที่เกิดอยู่เฉพาะในเขตพื้นที่ หรือที่เกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้าง โดยมักมีสาเหตุจากการเกิดเหตุขัดข้องขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง ระดับความเชื่อถือได้ (Hierarchical Levels) แบ่งได้ 3 ระดับชั้น [3] ดังต่อไปนี้คือ

ระดับชั้นที่ 1 พิจารณาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าเพียงระบบเดียวโดยจะเป็นการศึกษาถึงความสามารถของระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า

ระดับชั้นที่ 2 พิจารณารวมระบบผลิตไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้าเข้าด้วยกัน โดยเรียกว่า ระบบไฟฟ้าผสม (Composite system) หรือระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ (Bulk Power System)

ระดับชั้นที่ 3 พิจารณารวมระบบผลิตไฟฟ้า , ระบบส่งไฟฟ้า , และระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 1.2 การแบ่งระดับชั้นความเชื่อถือได้

ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังเป็นระบบที่ใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง การเกิดเหตุขัดข้องภายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละตัวย่อมส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดโหลด ซึ่งภายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิด ดังนั้นการคำนึงถึงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาควบคู่ประกอบไปกับการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

วิธีการประเมินความเชื่อถือได้แบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การวิเคราะห์ (Analytical) และวิธีการจำลองเหตุการณ์ (Simulation) [4] การวิเคราะห์นั้นแบ่งได้อีก 2 แบบ คือ แบบจำลองเน็ตเวิร์ค (Network modeling) และแบบจำลองมาร์คอฟ (Markov modeling)

วิธีการวิเคราะห์จะอาศัยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ให้สอดคล้องกับแบบจำลองซึ่งมีความแม่นยำสูงในระบบจำหน่าย [5-9] ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจในแง่ของความเพียงพอ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวไม่สามารถพิจารณาถึงพฤติกรรมของระบบระหว่างที่ระบบถูกรบกวน (เช่นในระหว่างเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระบบซึ่งทำให้เกิดแรงดันตกหรือไฟกระพริบซึ่งจะส่งผลอย่างไรกับผู้ใช้ไฟฟ้า) ดังนั้นหากไม่มีการพิจารณาปัญหาดังกล่าวในการวิเคราะห์ผลที่ได้รับก็อาจไม่ได้รับการยอมรับ ทั้งนี้ปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเฉพาะในส่วน of ระบบจำหน่ายที่มีโหลดจากอุตสาหกรรมซึ่งมีความไวต่อการที่แรงดันตกในระหว่างการเกิดการผิดพลาด [10] ด้วยเหตุดังกล่าววิธีการจำลองเหตุการณ์จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาและพิจารณาของผลดังกล่าวที่มีต่อดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง [11] ซึ่งวิธีการจำลองเหตุการณ์นั้นมักอาศัยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) ซึ่งเป็นการจำลองให้เกิดเหตุการณ์ซึ่งมักเป็นเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าด้วยการสุ่มตามหลักการทางคณิตศาสตร์แล้วจึงพิจารณาถึงผลการทำงานของระบบแทนการแก้ปัญหาด้วยการแทนค่าในสมการ โดยตรงวิธีมอนติคาร์โลถือเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ดี อีกทั้งยังสามารถใช้พิจารณาถึงความไม่แน่นอนได้ดีและสามารถแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายแบบต่าง ๆ ของการสุ่มได้ ในอดีตวิธีการดังกล่าวมีข้อเสียในเรื่องของระยะเวลาที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการจำลองเหตุการณ์และวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันการทำงานของคอมพิวเตอร์มีความเร็วเพิ่มขึ้นสูงมากทำให้วิธีดังกล่าวกลับมาเป็นที่นิยมในการวิเคราะห์แก้ปัญหาสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังสมัยใหม่

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำความรู้ต่าง ๆ ข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลโดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยจะทำการจำลองการทำงานที่ล้มเหลวของอุปกรณ์และเก็บสะสมเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นซึ่งจะพิจารณาเป็นแบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic components) ตามปกติโหลดบางชนิด ในภาคอุตสาหกรรมอาจมีความไวต่อแรงดันตกในช่วงสั้น ๆ (Voltage sag) ซึ่งเกิดจากการลัดวงจรในระบบ ผลกระทบของแรงดันตกเหล่านี้จะถูกนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับแรงดันตกสูงสุดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ณ จุดโหลดต่าง ๆ ที่ยอมรับได้ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดวงจรที่จุดโหลด โดยจะพิจารณารวมถึงการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำ

(Undervoltage Relay) ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันแรงดันตกในโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้การตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินจะมุ่งเน้นที่การตั้งค่าระยะเวลาในการทำงานและขนาดของแรงดันตกที่ทำให้รีเลย์ทำงาน ซึ่งการปรับตั้งค่าของรีเลย์นี้เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดไฟดับเนื่องจากแรงดันตกที่จุดโหลดได้วิธีหนึ่ง ในวิทยานิพนธ์นี้จะวิเคราะห์ถึงวิธีการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆกันเพื่อตรวจสอบผลที่ได้ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของดัชนีความเชื่อถือได้ คือ SAIFI และ SAIDI โดย SAIFI จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ SAIFI แบบถาวร และ SAIFI อันเนื่องจากการเกิดแรงดันตก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังที่ค้ำถึงแรงดันตกและระบบป้องกันโดยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆกันได้

1.3 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังแบบเรเดียล
2. ไม่พิจารณาถึงเหตุการณ์ที่เกิดขัดข้องอย่างซ้ำซ้อนในเวลาเดียวกันในระบบ
3. ไม่พิจารณาผลจากสภาวะทางธรรมชาติ เช่น บริเวณที่มีพายุ ฟ้าผ่า ฝนตก ฯลฯ
4. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายโดยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถคำนวณดัชนีสากลต่าง ๆ ไว้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการวางแผนการลงทุนในด้านการขยายหรือปรับปรุง
2. สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดผลกระทบเนื่องจากไฟตกลดน้อยลง
3. มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณดัชนีสากลความเชื่อถือได้ที่ใช้วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล สำหรับใช้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติต่อไป

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการทำวิทยานิพนธ์
 - 1.1 ศึกษามูลเหตุแห่งปัญหาที่ก่อให้เกิดการทำวิทยานิพนธ์
 - 1.2 ศึกษาแนวทางแก้ไข วิธีการประเมิน และขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์
 - 1.3 ศึกษาและประเมินแผนงาน ระยะเวลา อุปสรรค และแนวทางแก้ไขในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์
2. ศึกษากระบวนการวิธีภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ
 - 2.1 ศึกษาทฤษฎี กระบวนการวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น การสุ่มตัวเลข การเปลี่ยนค่าของตัวเลขที่สุ่มให้มีการกระจายแบบต่าง ๆ ในกระบวนการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลและการคำนวณแรงดันที่จุดโหนดโดยศึกษาค้นคว้าจากเอกสารหนังสือ และบทความต่าง ๆ
 - 2.2 ศึกษาวิธีการประเมินค่าความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง โดยใช้วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์
3. วิจัยและพัฒนา
 - 3.1 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
 - 3.2 ประยุกต์ใช้กระบวนการวิธีและ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่วิจัยและพัฒนาขึ้นกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า
 - 3.3 วิเคราะห์และสรุปผล
4. เรียบเรียง ตรวจสอบ และจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์เพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการและดำเนินการจัดสอบต่อไป

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงแบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เช่น รูปแบบของระบบจำหน่ายโดยทั่วไป อุปกรณ์หลักในระบบจำหน่าย แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ เกณฑ์การเกิดข้อขัดข้องของแต่ละจุดโหนด

บทที่ 3 กล่าวถึงการประเมินความเชื่อถือได้โดยวิธีการวิเคราะห์และวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล และ เทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์ เช่น การสุ่มตัวเลข (Random Number Generation) การเปลี่ยนค่าของตัวเลขที่สุ่มมา (Conversion of Uniform Random Number)

รูปแบบการกระจายของข้อมูลแบบต่างๆ กระบวนการในการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล และการหาจำนวนรอบในการจำลองเหตุการณ์

บทที่ 4 กล่าวถึงกระบวนการขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล แผนผังการจำลองเหตุการณ์ วิธีการสร้างอิมพีแดนซ์เมตริกซ์เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาแรงดัน ณ จุดโหลดต่างๆ การคำนวณแรงดัน ณ จุดโหลดต่างๆ การคำนวณหาระแสผิดพลาดเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นโดยใช้อิมพีแดนซ์เมตริกซ์

บทที่ 5 กล่าวถึงการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยจะทำการปรับตั้งลักษณะการทำงานนั่นก็คือ ค่าแรงดันเริ่มต้นทำงาน (Pick up voltage) และค่า Time multiplier เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นต่อระบบในรูปแบบของดัชนี SAIFI

บทที่ 6 กล่าวถึงตัวอย่าง ผลการคำนวณและการวิเคราะห์ ผลการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยระบบทดสอบ ตัวอย่างแสดงผลการคำนวณระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษา การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ เช่น ระดับของแรงดันตกสูงสุดที่ยอมรับได้ที่จุดโหลด ระยะเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันจะเริ่มทำงาน กับระบบทดสอบเพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลง วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดสอบที่ได้จากระบบตัวอย่าง โดยอาศัยผลการประเมินความเชื่อถือได้

บทที่ 7 เป็นการสรุปผลการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แบบจำลองของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังทำหน้าที่รับกำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากระบบผลิตไฟฟ้า (Generating System) ผ่านระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) เพื่อทำการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ต่อไป โดยทั่วไปแล้วระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบหลักต่างๆคือ สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย(Substation) สายป้อน(Feeder) หม้อแปลงจำหน่าย(Distribution Transformer) สายจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำและอุปกรณ์ป้องกัน(Protective devices)

หน้าที่ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่สำคัญประการหนึ่งคือ การส่งจ่ายพลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา มีความมั่นคงในการส่งไฟฟ้าสูง หากเกิดเหตุขัดข้องก็สามารถแก้ไขให้ไฟฟ้าดับกลับคืนในเวลารวดเร็วหรือทำให้มีระยะเวลาการขัดข้องน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยอาศัยอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ซึ่งเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการลัดวงจร (Short Circuit) ในสายป้อน หรือ หม้อแปลง การเกิดการลัดวงจรนี้อาจเกิดได้ใน 2 ลักษณะ คือ แบบถาวร (Permanent Failure) และแบบชั่วคราว (Temporary Failure) ที่อาจส่งผลให้เกิดแรงดันตก หรือ ไฟกระพริบแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ อันเป็นสาเหตุในการเกิดไฟฟ้าดับแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งมีการใช้อุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตก ซึ่งจะพบบ่อยในย่านผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม หากการทำหน้าที่ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากเกิดการขัดข้องของอุปกรณ์แล้วก็จะมีความเชื่อถือได้ต่อระบบโดยรวมได้ เช่นกรณีของการเกิดแรงดันตกแล้วทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดข้อขัดข้องหรือเกิดเหตุไฟฟ้าดับขึ้น ซึ่งส่งผลถึงความเชื่อถือได้ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงดังกล่าวไว้ในบทที่ 1 ด้วยเหตุดังกล่าวการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ผ่านมาจึงจำเป็นต้องทราบสภาวะการทำงานและล้มเหลวของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ นอกจากนี้เมื่อเราต้องการวิเคราะห์ผลรวมถึงผลของแรงดันตกที่มีต่อระบบไฟฟ้า โดยพิจารณาถึงการทำงานของระบบป้องกันดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ถึงแรงดันที่จุดโหลด (Load Point) ของผู้ใช้ไฟฟ้าขณะเกิดแรงดันตกเกณฑ์ในการขัดข้องที่จุดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้ารวมถึงการทำงานของระบบป้องกัน ซึ่งทั้ง 3 อย่างที่กล่าวมาส่งผลถึงการเกิดการขัดข้องต่อผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น

โดยทั่วไปเมื่อสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยได้รับแรงดันไฟฟ้าจากสายส่งก็จะแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงแล้วส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านสายป้อนไปยังหม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งมีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงเหมาะสมกับผู้ใช้ไฟรายย่อย หลังจากนั้นจึงส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำไปยังบ้านเรือน หรือ ธุรกิจห้างร้านทั่วไป ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ก็อาจรับแรงดันไฟฟ้าผ่านสายป้อนไปยังหม้อแปลงของตนเองได้โดยไม่ผ่านหม้อแปลงระบบจำหน่าย นอกจากนี้หากเป็นผู้ใช้

ไฟฟ้ารายใหญ่มากก็อาจรับไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้าแล้วสร้างสถานีจ่ายไฟฟ้าเป็นของตัวเอง สิ่งที่ยกตัวอย่างต่อไปนี้เป็นลักษณะในแบบต่าง ๆ ระบบจำหน่ายที่มีอยู่โดยทั่วไป

2.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

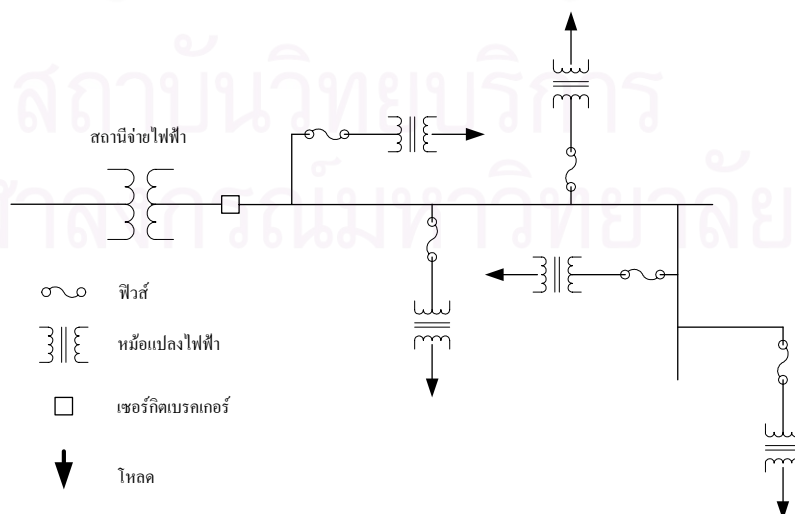
ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าพาดในอากาศ (Overhead Aerial System) และระบบจำหน่ายไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Cable System) การเลือกใช้ระบบใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อมและความประหยัด เป็นต้น แต่ที่พบเห็นโดยทั่วไปในประเทศไทยจะเป็นระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเหนือหัวเนื่องจากมีราคาต่ำกว่าระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแบบใต้ดินมาก แต่อย่างไรก็ตามในบริเวณที่มีบ้านเรือนหนาแน่น กรณีต้องเดินสายไฟข้ามแม่น้ำ หรือภายในนิคมอุตสาหกรรม นิยมใช้ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดินเนื่องจากสายใต้ดินเป็นสายที่มีฉนวนหุ้ม ย่อมมีความปลอดภัยและความมั่นคงสูงกว่าการใช้สายจำหน่ายเหนือหัวซึ่งมักเป็นสายเปลือย

สำหรับลักษณะรูปแบบของระบบจำหน่ายนั้น สามารถแยกออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ๆ คือ

- 1) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial Network)
- 2) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน (Ring Network)
- 3) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห (Mesh Network)

รายละเอียดเพิ่มเติมของแต่ละระบบมีดังนี้

2.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

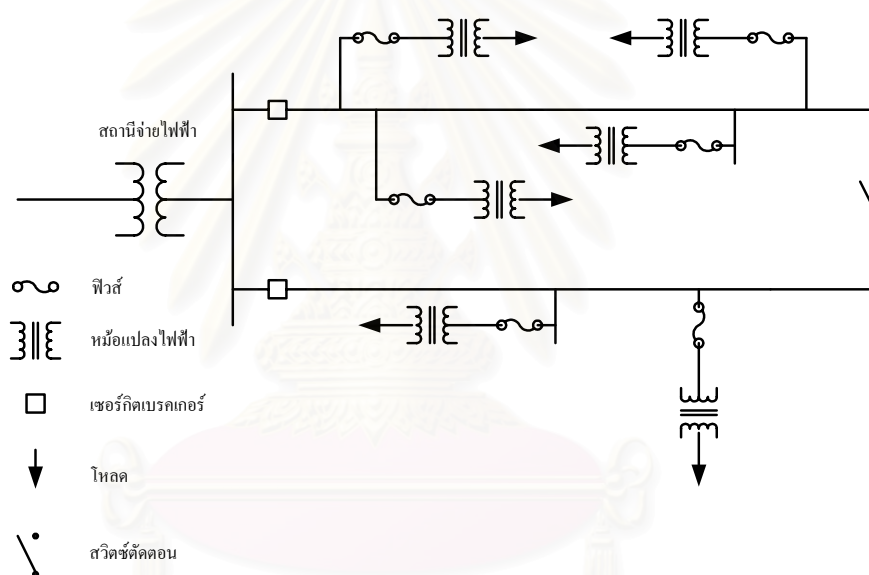


รูปที่ 2.1 ระบบจำหน่ายเรเดียล

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลคือระบบที่มีการป้อนพลังงานไฟฟ้าเข้าไปในสายจำหน่ายเพียงด้านเดียวและมีสายแยกออกไปดังแสดงในรูปที่ 2.1 การวางแผนใช้ระบบจำหน่ายแบบนี้หากมีโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นในอนาคตก็สามารถที่จะเพิ่มระบบจำหน่ายแบบเรเดียลให้กลายเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน หรือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห ต่อไปได้

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลนิยมใช้สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทั่วไปหรือในชนบทเนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าประเภทที่ลงทุนต่ำ มีการป้องกันระบบได้โดยวิธีง่าย ๆ และลักษณะของการวางสายแบบนี้สามารถเข้าใจได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าต่ำ

2.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน



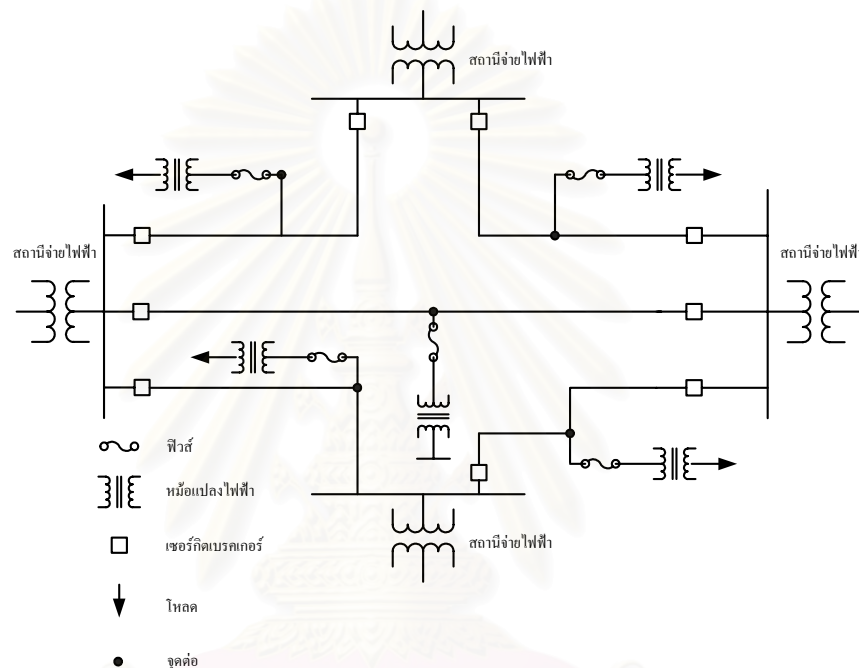
รูปที่ 2.2 ระบบจำหน่ายแบบวงแหวน

ลักษณะระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้จะทำเป็นรูปแบบวงแหวนกล่าวคือมีการจ่ายไฟเข้าที่ต้นทางและปลายทางโดยสถานีจ่ายไฟฟ้าแห่งเดียวกันตามรูปที่ 2.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้ในการใช้งานจริงบางครั้งจะเปิดวงจรออกทำให้ระบบเป็นวงจรแบบเรเดียลก็ได้ การกระทำเช่นนี้จะทำให้การป้องกันระบบนั้นทำได้ง่ายขึ้น

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวนนี้สามารถนำไปใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชนใหญ่และโรงงานอุตสาหกรรมได้ ข้อดีของระบบนี้คือ เมื่ออุปกรณ์ตัวหนึ่งตัวใดเกิดขัดข้องก็สามารถทำการตัดส่วนนั้นออกไปและวงจรส่วนที่เหลืออยู่ก็สามารถทำการจ่ายไฟฟ้าต่อไปอีกได้ ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูงขึ้นกว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล แต่ข้อเสียของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวนคือ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะกระทำได้โดยผ่านสถานีจ่ายไฟฟ้าเพียงสถานีเดียว ดังนั้นถ้า

เกิดการขัดข้องขึ้นภายในสถานีจ่ายไฟฟ้า ย่อมทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง และระบบป้องกันของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวนก็ยังคงต้องมีขีดความสามารถสูงขึ้นไปกว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเนื่องจากระบบป้องกันต้องตรวจสอบให้ทราบว่าเกิดการลัดวงจรขึ้นที่อุปกรณ์ตัวใดเพื่อที่จะได้ตัดอุปกรณ์ส่วนนั้นออกจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

2.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห



รูปที่ 2.3 ระบบจำหน่ายแบบร่างแห

ตามรูปที่ 2.3 เป็นรูปของระบบจำหน่ายแบบร่างแห สังเกตได้ว่าการต่อกันของสายจำหน่ายจะมีลักษณะเหมือนแหที่กระจายออกไปครอบคลุมแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ และมีสถานีจ่ายไฟฟ้าเข้าในระบบจำหน่ายได้หลายจุด

ข้อดีของระบบนี้คือระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้มีความเชื่อถือได้สูงสุดกว่าทุกระบบที่กล่าวมาและสามารถสร้างสถานีจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ง่ายเมื่อโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้ต้องลงทุนในการก่อสร้างระบบค่อนข้างสูงเช่นกัน เนื่องจากระบบดังกล่าวต้องสร้างสายส่งและอุปกรณ์ป้องกันจำนวนมาก และในขณะที่ทำการจ่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจร (Short Circuit) จะทำให้กระแสลัดวงจรมีขนาดสูงมากได้

2.2 อุปกรณ์หลักในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตามมาตรฐานการก่อสร้างวัสดุ อุปกรณ์ และระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าทั้งการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค[6] ระบบจำหน่ายจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักต่าง ๆ ดังนี้

1. สายไฟฟ้า (Conductor) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ สายเปลือย และ สายหุ้มฉนวน การเลือกใช้สายไฟฟ้าแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ หากต้องการระบบไฟฟ้าที่มีความเชื่อถือได้สูงควรใช้สายเคเบิลใต้ดิน แต่การลงทุนก็จะสูงตามไปด้วย

2. หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ต่ำลงเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ผู้ใช้ประเภทต่าง ๆ ด้วยระบบแรงดันต่ำต่อไป

3. เซอร์คิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) โดยทั่วไปใช้ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ป้องกันใช้ในการกำจัดการเกิดผิดพลาดในระบบหรือตัดส่วนของอุปกรณ์ที่เกิดผิดพลาดออกจากระบบ

4. รีโครสเซอร์ (Recloser)

4.1 ใช้ติดตั้งในระบบจำหน่ายที่มีปัญหาเกิดความผิดพลาดแบบชั่วคราว บ่อย ๆ

4.2 ใช้ติดตั้งในสายเมนหรือสายที่แยกอยู่ที่อยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าตั้งแต่ 10 กม. ขึ้นไป และในสายเมนหรือสายแยกใด ๆ ที่มีปัญหาเกิดความผิดพลาดแบบชั่วคราวบ่อยครั้งหรือเป็นสาขานำหน้าที่มีความสำคัญก็อาจพิจารณาติดตั้งได้ตามความเหมาะสม

4.3 อาจพิจารณาติดตั้งรีโครสเซอร์ที่สถานีไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันแทนเซอร์คิตเบรกเกอร์

4.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งรีโครสเซอร์ต้องพิจารณาให้สะดวกในการเข้าไปปฏิบัติงานและบำรุงรักษา และค่ากระแสผิดพลาดซึ่งอาจเกิดขึ้น ณ จุดนี้ จะต้องมีค่าไม่มากกว่าพิกัดการตัดกระแสของรีโครสเซอร์

5. ดรอพเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ (Dropout Fuse Cutout) เป็นอุปกรณ์ป้องกันอีกชนิดหนึ่ง

5.1 ติดตั้งในสายแยกที่มีระยะทางเกินกว่า 1 กิโลเมตร และในสายย่อยที่มีระยะทางเกินกว่า 5 กิโลเมตร

5.2 กรณีสายแยกที่มีระยะทางไม่เกินกว่า 1 กิโลเมตร และสายย่อยที่มีระยะทางไม่เกิน 5 กิโลเมตร อาจติดตั้งดรอพเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ได้ถ้าพิจารณาเห็นว่าเหมาะสมเพียงพอ เช่น มีต้นไม้อยู่ในแนวสายไฟฟ้ามาก

5.3 ในสายเมนไม่ควรติดตั้งดรอพเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ หรือถ้าจะติดตั้งก็ควรมีน้อยที่สุด โดยพิจารณาเห็นว่ามีความจำเป็น

5.4 ดรอปเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ที่ติดตั้งจะต้องทำงานสัมพันธ์กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ , รีโครสเซอร์ หรือ ดรอปเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ด้วยกัน

6. สวิตช์สำหรับตัดโหลด (Load Break Switch) และสวิตช์แบบน้ำมัน (Oil Switch)

6.1 ใช้ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนเข้าเมืองที่สำคัญ อาจติดตั้งทุก ๆ 20 กิโลเมตรก็ได้

6.2 ติดตั้งในสายเชื่อมตำแหน่งที่มีการเชื่อมโยงระหว่างฟีดเดอร์หรือระหว่างสถานีไฟฟ้า

6.3 กรณีสายแยกใดที่มีโหลดมากและต้องติดตั้งสวิตช์ตัดตอนให้พิจารณาติดตั้งได้ตาม

ความเหมาะสม

7. สวิตช์ตัดตอน (Disconnecting Switch)

7.1 ติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนที่สถานีไฟฟ้าและก่อนเข้าสายเคเบิลแรงสูง

7.2 ติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนก่อนเข้าและออกจากรีโครสเซอร์ และ โวลต์เตจเรกูเลเตอร์

7.3 ติดตั้งเป็นสวิตช์บายพาสที่รีโครสเซอร์

7.4 ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนออกจากเมืองที่สำคัญ

8. สวิตช์แบบอากาศ (Air Switch)

8.1 ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเพื่อเป็นสวิตช์สำหรับทำบายพาส

8.2 ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกแทนตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนเมื่อต้องการปิดหรือเปิด

วงจรขณะที่มีโหลด

9. เสาไฟฟ้า คอนสาย และลูกถ้วย (Pole,Crossarm and Insulator)

สำหรับการศึกษาความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นโดยทั่วไปจะพิจารณาอุปกรณ์หลักๆ อยู่ 2 ชนิด [19,20] ได้แก่ หม้อแปลง และ สายส่ง แต่อาจนำอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบมาพิจารณาดูก็ได้ เช่น บัสบาร์ เป็นต้น

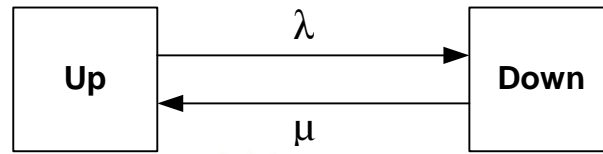
โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาผลเนื่องจากการทำงานของสายไฟ หม้อแปลง เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ ฟิวส์ เท่านั้น เนื่องจากต้องการศึกษาถึงผลของอุปกรณ์ป้องกันที่มีต่อค่าดัชนีความ

เชื่อถือได้ของระบบเป็นหลัก

2.3 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์

ในทางปฏิบัติอุปกรณ์ต่าง ๆ ก็ทำหน้าที่ต่าง ๆ กันดังกล่าวข้างต้น แต่เมื่อต้องการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังนั้นจำเป็นต้องทราบแบบจำลองสถานะ (State model) เพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด สำหรับใช้พิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดการขัดข้องของอุปกรณ์นั้น ๆ ขึ้นในระหว่างปฏิบัติงาน

โดยทั่วไปเราอาจจำลองสถานะการทำงานของอุปกรณ์แบ่งได้เป็น 2 สถานะคือ สถานะที่อุปกรณ์ทำงานได้ตามปกติ (Up) และสถานะที่อุปกรณ์ขัดข้องใช้งานไม่ได้ (Down) ดังนั้นแบบจำลองพื้นฐานก็คือแบบจำลอง 2 สถานะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์

แบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วย 2 สถานะซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยอัตราการล้มเหลว (λ) และอัตราการซ่อมแซม (μ) กล่าวคือในการเปลี่ยนสถานะจากการทำงานปกติไปเป็นสถานะล้มเหลวจะเป็นไปตามอัตราการล้มเหลว และการเปลี่ยนสถานะในทางกลับกันจะเป็นไปตามอัตราการซ่อมแซมแบบจำลองนี้มีข้อดีที่เป็นแบบจำลองที่ง่ายต่อการเข้าใจและวิเคราะห์ แต่หากเมื่อนำไปใช้พิจารณาถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์บางชนิดที่มีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อน แบบจำลองดังกล่าวจะไม่สามารถจำลองถึงลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนได้ตามความจริงบางประการ

โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 2 สถานะ โดยระยะเวลาการทำงานอย่างต่อเนื่องของอุปกรณ์ตัวหนึ่งก่อนเกิดการล้มเหลว(TTF) มีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential distribution) และระยะเวลาการซ่อมแซม(TTR) มีการกระจายแบบไวบูลล์ (Weibull distribution) [4]

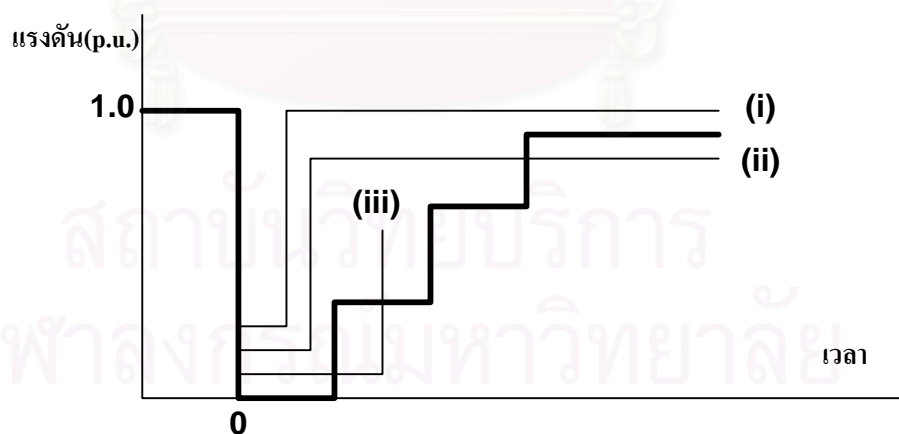
2.4 เกณฑ์การเกิดข้อขัดข้อง (Interruption criterion)

โหนดของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมและการพาณิชย์โดยทั่วไปนั้นสามารถทนต่อเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าตกหรือลดลงไปเป็นศูนย์ได้เพียงในช่วงเวลาที่จำกัดเท่านั้น ส่วนกรณีที่ระดับแรงดันตกแต่ไม่เป็นศูนย์จะสามารถทนได้ในช่วงเวลาที่นานขึ้นโดยหากเกิดแรงดันตกไปเพียงเล็กน้อยก็จะไม่ส่งผลต่อผู้ใช้ไฟฟ้าเหล่านั้น เมื่อนำค่าแรงดันตกในระดับต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นที่จุดโหลดไปเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกแล้วอุปกรณ์ที่จุดโหลดยังสามารถทำงานได้นั้นเราจะได้กราฟที่เรียกว่าแรงดันตกสูงสุดที่เกิดขึ้น โดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้องขึ้น (Maximum permissible voltage sags) เส้นกราฟดังกล่าวแสดงไว้เป็นตัวอย่างด้วยเส้นหนาในรูปที่ 2.5 [11,12] ซึ่งจะใช้กำหนดเป็นแรงดันตกสูงสุดที่โหลดจะทนได้โดยไม่เกิดข้อขัดข้องในการทำงานและใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการตัดวงจรที่จุดโหลดและช่วงเวลาที่อนุญาตให้เกิดแรงดันตกจะขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์ที่ใช้ ณ จุดโหลดนั้น ๆ ดังนั้นเส้นกราฟดังกล่าวในแต่ละพื้นที่อาจจะแตกต่างกันไป โดย

ที่เส้นกราฟนี้มีที่มาจากลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันคือ รีเลย์แรงดันต่ำซึ่งสามารถทำการปรับตั้งได้โดยที่จะต้องคำนึงถึงผลกระทบที่มีต่อโหลดที่ต่ออยู่ด้วย จากกราฟที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 เมื่อระดับแรงดันที่จุดโหลดตกต่ำกว่าเกณฑ์การเกิดข้อขัดข้องซึ่งแสดงด้วยเส้นหนาจะทำให้เกิดการขัดข้องขึ้นที่จุดโหลดหรือเกิดการตัดวงจรที่จุดโหลด โดยกรณี (i),(ii) และ (iii) เป็นรูปแบบของแรงดันตกลักษณะต่าง ๆ

สิ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างกราฟแรงดันตกที่เกิดขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้องที่จุดโหลดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ขนาดแรงดันตกที่ทนรับได้ของระบบคอมพิวเตอร์ในสถานประกอบการ
- เครื่องมือสำหรับการวัดค่าหรือระบบควบคุมที่จะทำการปรับให้ระบบอยู่ในสถานะที่ปลอดภัย เช่น การตัดไฟที่จ่ายให้กับระบบการผลิตเมื่อเกิดแรงดันตกเป็นต้น
- รีเลย์ที่ใช้ในการตัดไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ขนาดใหญ่ เมื่อแรงดันตกต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาที่กำหนด
- Stability curve ของมอเตอร์ซึ่งโครนัสซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทนรับได้นานที่สุด ณ ระดับของแรงดันตกต่าง ๆ
- การลดลงของแรงดันจะนำมาสู่การเพิ่มของกระแสในมอเตอร์ ในกรณีนี้เรามีรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบหน่วงเวลาเพื่อใช้ป้องกันมอเตอร์ ซึ่งสิ่งนี้ต้องนำไปกำหนดไว้ในกราฟแรงดันตกที่อนุญาตให้เกิดขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้องขึ้น
- ขึ้นกับระบบที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน หรือ UPS ทำให้ทนต่อแรงดันตกได้นานขึ้น

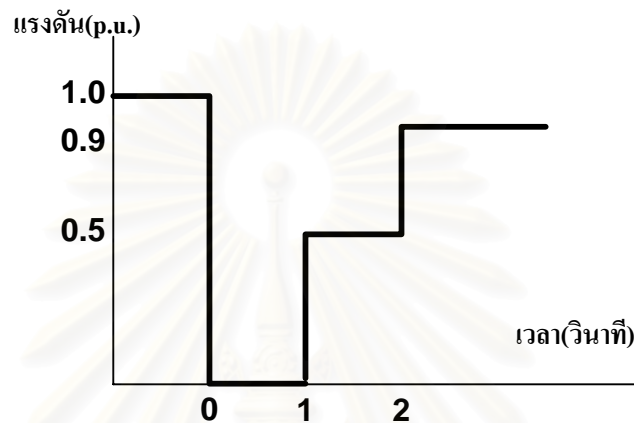


รูปที่ 2.5 เกณฑ์การเกิดข้อขัดข้อง (Interruption criterion) [11,12] (เป็นเส้นหนา)

ถ้าสมมติให้เส้นหนาในรูปที่ 2.5 เป็นเกณฑ์การเกิดข้อขัดข้องที่จุดโหลดหนึ่งจะพบว่ารูปแบบของแรงดันตกกรณี (i) จะไม่ทำให้เกิดการตัดวงจรที่จุดโหลดนั้น ในกรณีรูปแบบของแรงดันตกกรณี (ii) นั้น จะไม่ทำให้เกิดการตัดวงจรที่จุดโหลดเนื่องจากแรงดันตก แต่จะมีขนาดแรงดัน

หลังจากการเกิดแรงดันตกต่ำเกินไปซึ่งทำให้เกิดการตัดวงจรที่จุดโหลด และในกรณีรูปแบบของแรงดันตกกรณี (iii) นั้น จะเกิดการตัดวงจรที่จุดโหลดนั้น

การสร้างกราฟแรงดันตกสูงสุดที่อนุญาตให้เกิดขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้องขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ เช่นสมมติว่าที่จุดโหลดทนต่อแรงดันตกได้ที่ระดับ 50% ในช่วงเวลา 1 วินาที และแรงดันตกได้ที่ระดับ 90% ในช่วงเวลา 2 วินาที จะได้กราฟที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟแรงดันตกสูงสุดโดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้องขึ้น

โดยกราฟแรงดันตกสูงสุดที่อนุญาตให้เกิดขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้องขึ้นนี้สามารถหาได้จากลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันซึ่งที่นี้คือ รีเลย์แรงดันต่ำเกิน (Undervoltage relay) ซึ่งทางโรงงานสามารถที่จะทำการปรับตั้งได้ ทั้งนี้การปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินจะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อโหลดที่ได้รับการจ่ายไฟด้วย ถ้าเป็นโหลดที่มีความไวต่อแรงดันตกสูงทางโรงงานอุตสาหกรรมจะไม่สามารถตั้งค่าการทำงานที่ขนาดแรงดันตกที่ทำให้รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานมีขนาดต่ำได้ซึ่งในลักษณะเช่นนี้เมื่อเกิดแรงดันตกเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้จุดโหลดนี้ถูกตัดวงจรออกไป แต่ถ้าเป็นกรณีที่โหลดมีความไวต่อแรงดันตกน้อย ทางโรงงานอุตสาหกรรมก็สามารถที่จะตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินให้มีขนาดแรงดันที่ทำให้รีเลย์ทำงานมีขนาดต่ำได้มากขึ้นซึ่งจะเป็นการช่วยลดปัญหาการตัดวงจรที่จุดโหลดนี้ไปได้ส่วนหนึ่ง

ในการคำนวณเราจะต้องทราบถึงกราฟแรงดันตกสูงสุดที่อนุญาตให้เกิดขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดข้อขัดข้องขึ้นที่แต่ละจุดโหลดในระบบครบทุกจุดโหลดของระบบที่เราจะนำไปทดสอบเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณของโปรแกรม รายละเอียดของการได้มาซึ่งกราฟนี้จะแสดงหรือกล่าวไว้ในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 3

วิธีการประเมินค่าความเชื่อถือได้

จากบทนำได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบซึ่งประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์และวิธีการจำลองเหตุการณ์ ความแตกต่างระหว่างวิธีทั้งสอง คือการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทำการจำลองระบบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ฉะนั้นจึงทำการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยใช้การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยตรง ส่วนเทคนิคการจำลองเหตุการณ์เป็นการประมาณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นและการสุ่มพฤติกรรมของระบบ วิธีการดังกล่าวจะใช้แก้ปัญหาที่เป็นเหตุการณ์จริงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาทำการพิจารณา วิธีนี้จะประมาณค่าความน่าจะเป็นและดัชนีอื่น ๆ โดยการนับจำนวนครั้งที่เหตุการณ์ต่างๆ เกิดขึ้นซึ่งจะทำให้เราได้ข้อมูลลักษณะการกระจายความน่าจะเป็นของพารามิเตอร์ต่างๆที่ไม่สามารถทราบผลได้จากวิธีการวิเคราะห์

3.1 วิธีการวิเคราะห์ (Analytical method)

วิธีการวิเคราะห์เป็นวิธีที่อาศัยแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แล้วคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ตามสมการคณิตศาสตร์ และถือเป็นวิธีที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำ [4,5] สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่นำมาใช้ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังนั้นพอจะแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีหลักคือ

1. วิธีการลดทอนเครือข่าย
2. วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข
3. วิธีมินิมัลลัทธิเซต
4. วิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้

ซึ่งจะไม่แสดงรายละเอียดของแต่ละวิธีในที่นี้

3.2 วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation)

วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสุ่มผ่านแบบจำลองที่จำลองพฤติกรรมของระบบจริงโดยที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำงานในระบบจะมีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น จำนวนครั้งที่เกิดการล้มเหลว ช่วงเวลาระหว่างการล้มเหลว ช่วงเวลาในการ

ซ่อมแซม เป็นต้น โดยการสุ่มนี้จะถูกกระทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จากกระบวนการจำลองเหตุการณ์ดังกล่าวจะนำสู่การตรวจสอบและทำนายรูปแบบพฤติกรรมของระบบในช่วงเวลาที่จำลองเหตุการณ์ เพื่อที่จะได้ค่าการกระจายของความถี่หรือความน่าจะเป็นของดัชนีความเชื่อถือได้ต่าง ๆ ของระบบ และเป็นการประมาณค่าความคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเชื่อถือได้แบบต่าง ๆ โดยทั่วไปวิธีนี้มีความสะดวกและสามารถใช้กับระบบที่ซับซ้อนหรือมีการระบบที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ซึ่งวิธีการตัดสินใจจากประสบการณ์ (Deterministic method) ไม่สามารถหรือไม่สะดวกที่จะใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา[17]

วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลัก [4] คือ

1. การจำลองเหตุการณ์แบบสุ่ม(Random simulationหรือ Non-Sequential simulation)
2. การจำลองเหตุการณ์แบบเป็นลำดับ (Sequential simulation)

วิธีการแรกเป็นการจำลองเหตุการณ์ในแต่ละช่วงเวลาเพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่สนใจมีการทำงานล้มเหลวหรือไม่แล้วจึงตรวจสอบต่อไปว่าส่งผลให้ระบบทำงานล้มเหลวหรือไม่โดยคิดแต่ละช่วงเวลาเป็นหนึ่งเหตุการณ์ ส่วนวิธีที่สองจะทำการจำลองเหตุการณ์หาค่า Time to failure ของอุปกรณ์ทุกตัวในระบบ และถ้าอุปกรณ์นั้นสามารถซ่อมแซมได้ก็ต้องทำการจำลองเหตุการณ์หาค่า Time to repair ของอุปกรณ์ตัวนั้น ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวถูกทำอย่างต่อเนื่องและเป็นไปตามลำดับบนแกนของเวลา จากนั้นจึงจะนำจุดหรือช่วงของเวลาที่อุปกรณ์ซึ่งเกิดการล้มเหลวขึ้นมาพิจารณาว่าระบบเกิดการล้มเหลวหรือไม่ แล้วจึงทำการจำลองเหตุการณ์ไปจนครบคาบเวลาที่ต้องการ วิธีการดังกล่าวนี้ทำให้เราสามารถพิจารณาถึงเงื่อนไขของเวลาและผลของเหตุการณ์ก่อนหน้าซึ่งส่งผลต่อเหตุการณ์ถัดไปที่ส่งผลกระทบต่อระบบได้ โดยทั่วไปวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบเป็นลำดับสามารถแบ่งออกได้อีก 2 แบบ[4] คือ

1. วิธีกำหนดช่วงเวลาคงที่ (Fixed-time-interval method)
2. วิธีการเหตุการณ์ถัดไป (Next-event method)

วิธีการแรกจะกำหนดช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่งขึ้น ซึ่งช่วงเวลาที่กำหนดจะขึ้นกับลักษณะการปฏิบัติงานของระบบ โดยการจำลองเหตุการณ์จะเคลื่อนที่ไปที่ละก้าวและทำการตรวจสอบระบบในแต่ละก้าวที่เคลื่อนที่ไป ซึ่งแต่ละก้าวจะมีค่าเท่ากับช่วงเวลาที่กำหนดขึ้นและทำไปจนกว่าจะได้จำนวนก้าวที่เพียงพอ ส่วนวิธีการหลังจะทำการจำลองเหตุการณ์ไปอย่างต่อเนื่องซึ่งช่วงเวลาที่ก้าวจะเพิ่มขึ้นอยู่กับการเกิดขึ้นของเหตุการณ์ที่ได้จากการจำลอง ในการทำวิจัยนี้เราจะใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบเป็นลำดับและเป็นวิธีการเหตุการณ์ถัดไป เทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์แบบเป็นลำดับมีดังต่อไปนี้

3.3 การสุ่มตัวเลข (Random number generation)[4,15]

ฟังก์ชันพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์ที่สำคัญได้แก่ ฟังก์ชันที่ใช้ในการสุ่มตัวเลขซึ่งจะเป็นการสุ่มตัวเลขที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งตัวเลขที่ได้จากการสุ่มจะมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นตัวเลขที่ถูกสุ่มมาอย่างไม่เจาะจงและมีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม (Uniform distribution) คือมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาที่สุ่ม
- ลำดับของตัวเลขที่ถูกสุ่มมาจะสามารถซ้ำได้แต่ต้องมีระยะห่างก่อนที่จะเกิดการซ้ำมากพอ
- จะต้องเกิดลำดับของตัวเลขซ้ำในการสุ่ม (Reproducibility)

กระบวนการวิธี (Algorithm) ที่นิยมในการสุ่มตัวเลขนั้นเป็นการสุ่มตัวเลขค่าใหม่ (X_{i+1}) ในลำดับโดยคำนวณจากตัวเลขที่ถูกสุ่มตัวก่อนหน้า (X_i) ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของสมการ

$$X_{i+1} = (AX_i + C) \bmod(B) \quad (3.1)$$

โดยที่ A, B, C และ X_0 จะต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่ไม่ติดลบ และ X_0 ที่ถูกเลือกขึ้นมาจะต้องมีค่าไม่เกินค่าของ B แล้วตัวเลขที่ถูกสร้างไปอย่างต่อเนื่องโดยกระบวนการวิธีที่แสดงไว้ในสมการ (3.1) เพื่อต้องการให้ตัวเลขที่สุ่มอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 จะทำโดยนำตัวเลขที่สุ่มได้มาหารด้วย B ก็จะได้ผลดังนี้

$$U_i = X_i / B \quad (3.2)$$

ซึ่งจะได้ U_i เป็นเลขที่ได้จากการสุ่มและมีค่าอยู่ในช่วง $(0,1)$ และมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอซึ่งปกติในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันจะมีฟังก์ชันของการสุ่มตัวเลขอยู่ในโปรแกรมอยู่แล้ว ซึ่งในโปรแกรม Matlab จะใช้คำสั่ง rand

3.4 การเปลี่ยนค่าของตัวเลขที่สุ่มมาได้ (Conversion of uniform random number)

การเปลี่ยนค่าของตัวเลขที่สุ่มมาได้เพื่อให้ตัวเลขที่สุ่มมาซึ่งมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วง (Uniform distribution) เปลี่ยนแปลงไปเป็นการกระจายแบบไม่ยูนิฟอร์ม เช่น การกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential distribution) การกระจายแบบไวบูลล์ (Weibul distribution) การกระจายแบบปกติ (Normal distribution) เป็นต้น ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการจำลองเหตุการณ์จะต้องมีการเปลี่ยนค่าตัวเลขที่สุ่มมาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีการกระจายตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการนำไปใช้งาน

ซึ่งมีวิธีการเปลี่ยนค่าของตัวเลขที่สุ่มมาให้มีการกระจายแบบอื่น ๆ นั้นมีด้วยกันหลายวิธี[15] ซึ่งพอจะสรุปได้ 3 วิธีหลักดังนี้

1. Inverse transform method

2. Composition method
3. Acceptance rejection method

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธี Inverse transform method เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีการกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลและแบบวายบูลล์ เริ่มจากข้อมูลที่มีการกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลโดยการกำหนดให้ T เป็นข้อมูลที่มีการกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ฉะนั้นจะมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function)

$$f_T(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3.3)$$

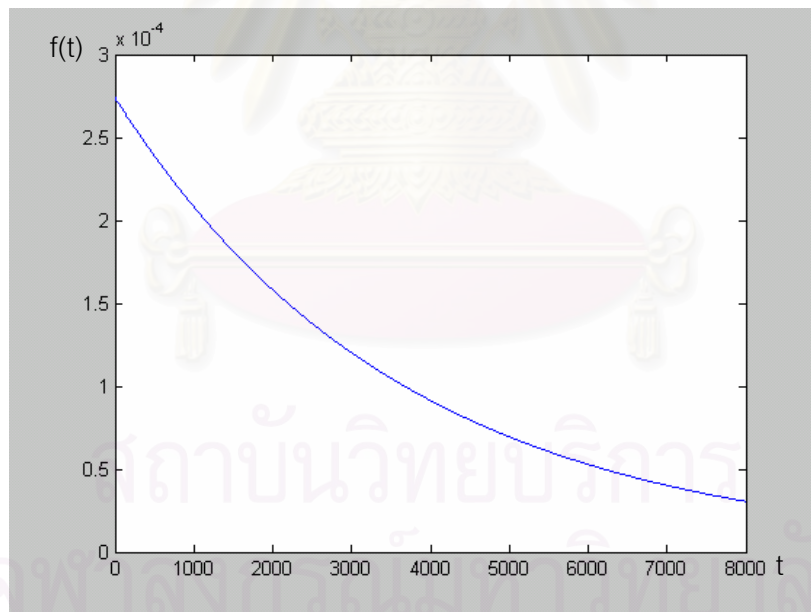
เมื่อ $\lambda > 0$ และ $t \geq 0$

วิธี Inverse transform method จะทำโดยการอินทิเกรตฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเพื่อให้ได้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative probability density function) แล้วทำการอินเวอร์สฟังก์ชันที่อินทิเกรตได้ ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

$$U = F_T(T) = 1 - e^{-\lambda T} \quad (3.4)$$

$$\text{จะได้} \quad T = - (1/\lambda) \ln(1-U) \quad (3.5)$$

โดยที่ U เป็นตัวเลขสุ่มในช่วง $(0,1)$ ซึ่งมีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม



รูปที่ 3.1 กราฟที่แสดงลักษณะของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของข้อมูลที่มีการกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล โดยมีค่า $1/\lambda = 3650$ วัน

รูปแบบการกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลถูกนำมาใช้กับค่า TTF เนื่องจากจากการศึกษาพบว่าการกระจายแบบนี้ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าการกระจายแบบอื่นๆ

ส่วนข้อมูลที่มีการกระจายแบบไวบูลล์ (Weibull distribution) โดยการกำหนด T เป็นข้อมูลที่มีการกระจายแบบไวบูลล์ ฉะนั้นจะมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ดังนี้[4]

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^\beta} e^{-(t/\alpha)^\beta}, 0 \leq t < \infty, \alpha > 0, \beta > 0 \quad (3.6)$$

โดยวิธี Inverse transform method ดังที่ได้อธิบายไปแล้ว จะได้

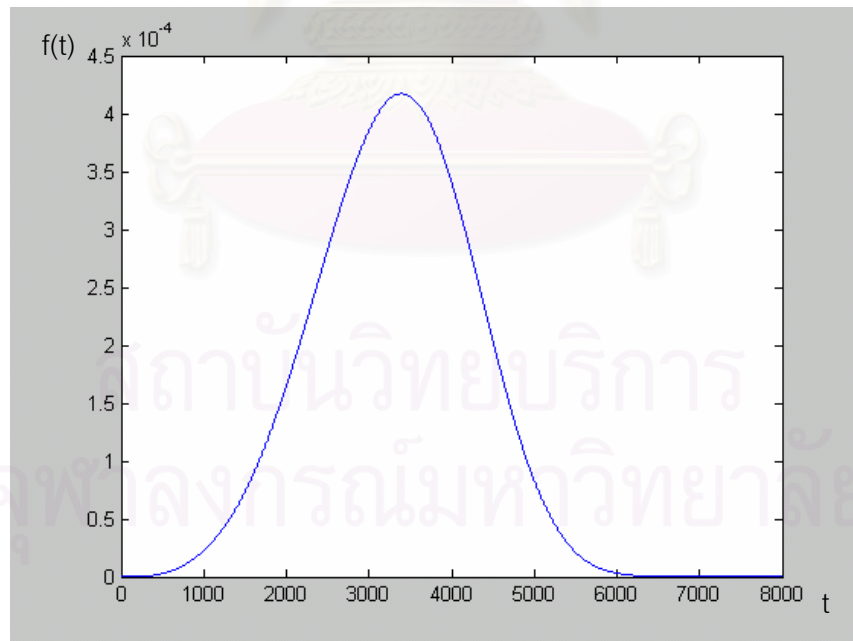
$$U = 1 - e^{-(t/\alpha)^\beta} \quad (3.7)$$

ดังนั้น

$$T = \alpha(-\ln(1-U))^{(1/\beta)} \quad (3.8)$$

โดยที่ U เป็นตัวเลขสุ่มในช่วง $(0,1)$ ซึ่งมีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม

รูปแบบการกระจายแบบไวบูลล์ถูกนำมาใช้กับค่า TTR เนื่องจาก หากเราพิจารณากราฟฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นดังรูปที่ 3.2 จะพบว่าช่วงตอนต้นและตอนปลายของกราฟจะมีความหนาแน่นของความน่าจะเป็นต่ำ ส่วนตอนกลางของกราฟพบที่มีความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสูง ซึ่งเป็นไปตามลักษณะการทำงานของอุปกรณ์เมื่ออุปกรณ์เกิดข้อขัดข้อง เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์นั้นจะส่วนใหญ่จะใช้ระยะเวลาอยู่ในช่วงเวลาที่ไม่นานและไม่บ่อยจนเกินไปซึ่งพบว่าการกระจายแบบไวบูลล์เหมาะสมสำหรับนำมาใช้กับค่า TTR



รูปที่ 3.2 กราฟที่แสดงลักษณะของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของข้อมูลที่มีการกระจายแบบไวบูลล์ (Weibull) โดยมีค่า $\alpha = 4$ โดยมีค่า $\beta = 3650$ วัน

ส่วนข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ซึ่งมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ดังนี้

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], -\infty < x < \infty \quad (3.9)$$

หรือเขียนได้อีกแบบ $N(\mu, \sigma^2)$ โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยเรขาคณิต σ^2 คือ ค่าความแปรปรวน

$$x = \mu + \sigma z \quad (3.10)$$

z คือข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเรขาคณิตเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1

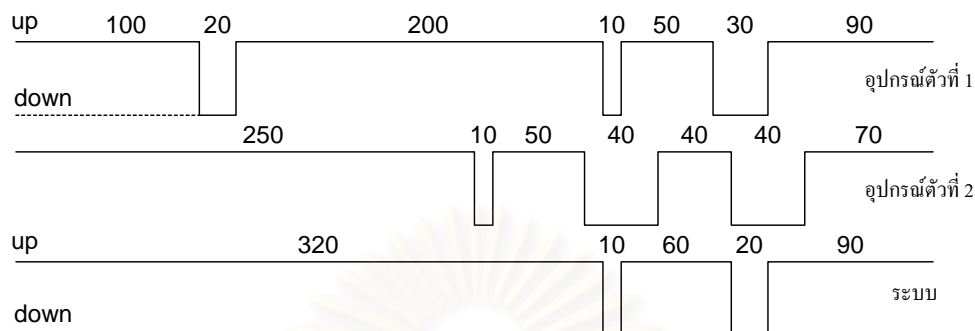
เนื่องจากในโปรแกรม Matlab ซึ่งใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับศึกษาตามหลักการในวิทยานิพนธ์นี้มีฟังก์ชันในการสร้างค่า z ได้โดยใช้คำสั่ง randn จากสมการที่ (3.10) ซึ่งทำให้เราสามารถสร้างข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติได้ เนื่องจากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการกระจายแบบปกติไม่สามารถอินทิเกรตได้จึงไม่สามารถใช้วิธี Inverse transform method ได้อย่างไรก็ตามยังมีอีก 2 วิธีที่เหลือสามารถทำได้ นอกจากนั้นเรายังสามารถประมาณฟังก์ชัน ความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการกระจายแบบปกติเป็นฟังก์ชันที่สามารถอินทิเกรตได้ เรายังสามารถใช้เทคนิค Inverse transform method ได้

3.5 กระบวนการในการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

เราจะใช้การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลสุ่มผ่านแบบจำลอง 2 สถานะกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ในระบบ โดยเราจะต้องสุ่มค่า Time to failure สลับกับ Time to repair ซึ่งเป็นสภาวะการทำงาน ของแบบจำลอง 2 สถานะ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่มากขึ้นเรามีตัวอย่างที่แสดงลำดับขั้นตอนในการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลกับระบบที่มีอุปกรณ์ซึ่งสามารถซ่อมแซมได้ ได้แสดงไว้ดังนี้คือ

- ขั้นตอนที่ 1 : สุ่มตัวเลขขึ้นมา 1 ค่าสำหรับแต่ละอุปกรณ์ในระบบทุก ๆ อุปกรณ์แล้วแปลงตัวเลขที่สุ่มขึ้นมาได้ไปเป็นค่า TTF ที่มีลักษณะการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล
- ขั้นตอนที่ 2 : พิจารณาว่าอุปกรณ์ใดมีค่า TTF น้อยที่สุด
- ขั้นตอนที่ 3 : สุ่มตัวเลขมาอีกหนึ่งค่าสำหรับอุปกรณ์ที่มีค่า TTF น้อยที่สุดแล้วแปลงไปเป็นค่า TTR ที่มีลักษณะการกระจายแบบวายบูลล์
- ขั้นตอนที่ 4 : วิเคราะห์หาค่าอัตราการล้มเหลวและค่าดัชนีความเชื่อถือได้ต่าง ๆ
- ขั้นตอนที่ 5 : สุ่มตัวเลขมาอีกหนึ่งค่าแล้วแปลงไปเป็นค่า TTF ใหม่สำหรับอุปกรณ์ที่ล้มเหลวไปแล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ถ้าจำนวนรอบในการจำลองเหตุการณ์ยังไม่เพียงพอ
- ขั้นตอนที่ 6 : แสดงค่าดัชนีต่าง ๆ ที่คำนวณได้

ตัวอย่างในรูปที่ 3.3 แสดงลำดับการทำงานและการซ่อมแซมของระบบที่มีอุปกรณ์ 2 ตัวต่อขนานกัน



รูปที่ 3.3 แสดงลำดับการทำงานของระบบที่มีอุปกรณ์แบบซ่อมแซมได้ 2 ตัว

จากรูปที่ 3.3 เราจะเห็นว่า ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองในระบบจะเกิดการล้มเหลว 3 ครั้งแต่ระบบจะเกิดการล้มเหลวเพียง 2 ครั้ง โดยครั้งหนึ่งนาน 10 ชั่วโมงและ 20 ชั่วโมงตามลำดับ ในช่วงเวลาในการจำลองเหตุการณ์ 500 ชั่วโมง ดังนั้นจะได้ว่า

$$\text{ความถี่ของการล้มเหลวของระบบ} = 2f / 500 \text{ hr} = 35.04 \text{ f/year}$$

$$\text{ช่วงเวลาเฉลี่ยที่ระบบล้มเหลว} = (10+20)/2 = 15 \text{ hr}$$

$$\text{ความไม่พร้อมมูลของระบบ} = 30 / 500 = 0.06$$

$$\text{ความพร้อมมูลของระบบ} = 470/500 = 0.94$$

แต่กระบวนการจำลองเหตุการณ์ดังกล่าวจะต้องทำซ้ำหลายครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่มีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ซึ่งรูปแบบดังกล่าวเป็นพื้นฐานที่สำคัญที่จะนำมาใช้ในการวิจัยนี้

3.6 จำนวนรอบของการจำลองเหตุการณ์ (Number of simulations)

การวิเคราะห์หาจำนวนรอบ ของการจำลองเหตุการณ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานนั้นจะอาศัยกฎในการหยุดการจำลองเหตุการณ์ (Stopping rule) [4,15] ซึ่งโดยทั่วไปมีเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดจำนวนรอบในการจำลองเหตุการณ์อยู่ 2 แนวทาง คือ

1. pre-specified number of trials
2. pre-specified precision

ในหลักการแรก เราจะตั้งจำนวนรอบในการจำลองเหตุการณ์ไว้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งไม่ใช่หลักเกณฑ์ที่ดีในการสร้างความเชื่อถือได้ให้กับผลลัพธ์ ถ้าหากไม่เข้าใจระบบและพฤติกรรมของระบบที่ทำการจำลองเหตุการณ์อย่างดีพอ อย่างไรก็ตามอาจจะสามารถนำเอาเทคนิคการลดค่าความแปรปรวน (Variance reduction technique) [4,15] มาใช้ได้ เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับผลตอบที่ได้

จากการคำนวณ สำหรับหลักการหลังซึ่งเป็นวิธีที่เรานำมาใช้ จะอาศัยการตั้งค่าของระดับความแม่นยำ (Degree of precision) หรือตั้งช่วงของความเชื่อมั่น (Confidence interval)[17,18] แทน ซึ่งวิธีนี้จะไม่เหมาะสมต่อการใช้เทคนิคการลดค่าความแปรปรวน แต่จะอาศัยการพิจารณาโดยในขณะที่ทำการจำลองเหตุการณ์แต่ละรอบจะทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative error) หรือ ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) โดยใช้หลักการทดสอบทางสถิติซึ่งอาศัยสมมติฐานว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติถ้าการสุ่มนั้นมีจำนวนรอบที่มากเพียงพอ จะทำการจำลองเหตุการณ์จนค่าที่คำนวณแต่ละรอบน้อยกว่าค่า Pre-specified precision (ค่าที่ตั้งไว้สำหรับใช้หยุดการจำลองเหตุการณ์) ที่กำหนดไว้ จึงหยุดการจำลองเหตุการณ์ โดยสมการในการคำนวณหา Relative uncertainty เพื่อใช้ในการตรวจสอบกับค่าที่ตั้งไว้สำหรับใช้หยุดในการจำลองเหตุการณ์แสดงไว้ดังสมการที่ 3.11 ดังนี้

$$Relative\ uncertainty = \frac{s}{x\sqrt{n}} \quad (3.11)$$

โดยที่ \bar{x} = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูล

s = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

n = จำนวนรอบในการจำลองเหตุการณ์

อย่างไรก็ตามในบางกรณีที่มีการตั้งค่าที่ใช้ในการหยุดการจำลองเหตุการณ์ไว้ต่ำมากก็จำเป็นต้องกำหนดจำนวนรอบสูงสุดในการจำลองเหตุการณ์ไว้ให้สูงสำหรับการหยุดจำลองเหตุการณ์ ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลตอบที่ได้มีความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

บทที่ 4

การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าโดยใช้วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

4.1 คำจำกัดความ

ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า[4,15] หมายถึง ความคาดหวังว่าระบบไฟฟ้าจะสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องโดยมีกระแสไฟฟ้าขัดข้องน้อยที่สุด

ดัชนีความเชื่อถือได้ (Reliability indices) ของระบบไฟฟ้า หมายถึง ตัวชี้บ่งถึงคุณภาพของระบบไฟฟ้าว่ามีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องในระบบมากน้อยเพียงใด ค่าดัชนีจะสะท้อนให้เห็นถึงความพอเพียงและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ

ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้านั้นจะต้องคำนึงถึงสถิติการทำงานหรือการคาดการณ์การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นในระบบว่าจะเกิดเหตุขัดข้องขึ้นบ่อยครั้งหรือเมื่อเกิดแล้วต้องใช้เวลาซ่อมแซมนานหรือไม่ ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถทำการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ได้ตามปกติอีกครั้ง

จากสถิติการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เราสามารถนำมาหาค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ใช้กันทั่วไปได้แก่

อัตราการเกิดเหตุขัดข้อง (Outage rate) หมายถึง จำนวนครั้งที่เกิดเหตุขัดข้องในช่วงเวลาที่กำหนด เช่น ในช่วงเวลา 1 เดือน หรือ 1 ปี เป็นต้น

อัตราการล้มเหลว (Failure rate : λ) หมายถึง ความถี่ของการล้มเหลวหรือการไม่ทำงานตามที่กำหนดไว้ของอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบ ความถี่ดังกล่าวมักจะพูดกันเป็นจำนวนครั้งต่อหนึ่งปี

ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้อง (Outage Time : r) คือ ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องแต่ละครั้งจนเข้าสู่สภาวะปกติ

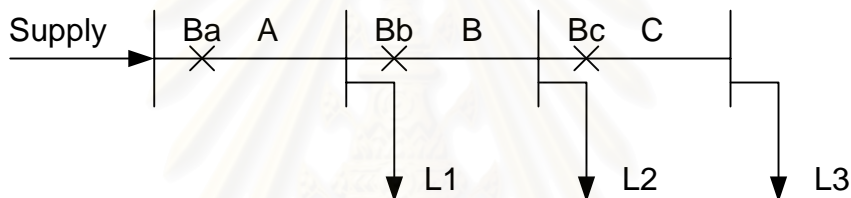
ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องในหนึ่งปี (Average annual outage time : U) หมายถึง ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องรวมกันทั้งหมดในหนึ่งปี

โดยค่า λ , r และ U ต่างเป็นพารามิเตอร์พื้นฐานการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

4.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด (Reliability indices at load point)

ความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดใด ๆ [5] ขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ระหว่างจุดจ่ายไฟ (Supply) กับจุดโหลดนั้น ๆ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ทำให้อุปกรณ์ที่เกิดขัดข้องกลับคืนสภาวะการทำงานได้ตามปกติและต่อเข้ากับระบบได้อีกด้วย

ตัวอย่างตามรูปที่ 4.1 เป็นระบบจำหน่ายแบบเรเดียล (Radial distribution system) ที่ประกอบด้วย สายไฟฟ้า เบรกเกอร์ บัสบาร์ ต่ออนุกรมกัน การคำนวณความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด L1 จะขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของสายไฟ A รวมทั้งเบรกเกอร์ Ba ด้วย ความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด L2 จะขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของสายไฟ A และสายไฟ B รวมทั้งเบรกเกอร์ Ba และ Bb ส่วนความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด L3 จะขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของสายไฟ A , B และ C รวมทั้งเบรกเกอร์ Ba , Bb และ Bc



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างของระบบที่มีสายส่งไฟฟ้าแบบเรเดียลและมีจุดโหลด 3 จุด

สมมติให้อัตราการล้มเหลวและช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับแต่ละครั้งเฉลี่ยของสายไฟ A,B และ C ตามตารางที่ 4.1 โดยให้ความเชื่อถือได้ของเบรกเกอร์ Ba,Bb และ Bc เป็น 100%

ตาราง4.1 ข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ในระบบตัวอย่าง

| สายไฟฟ้า | อัตราการล้มเหลว (ครั้ง/ปี) | ระยะเวลาที่เกิดการขัดข้อง ชั่วโมง/ครั้ง |
|----------|----------------------------|-----------------------------------------|
| A | 0.2 | 6 |
| B | 0.1 | 5 |
| C | 0.15 | 8 |

การคำนวณค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของระบบที่ต่อแบบอนุกรม สามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\lambda_s = \sum \lambda_i \tag{4.1}$$

$$U_s = \sum \lambda_i r_i \tag{4.2}$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum \lambda_i r_i}{\sum \lambda_i} \quad (4.3)$$

เมื่อ i คือ จำนวนอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรม

λ คือ อัตราล้มเหลวของอุปกรณ์

r คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์

U คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องในหนึ่งปีของอุปกรณ์

โดยที่ดัชนีที่คำนึงถึงแรงดันตกนั้นจะแสดงผ่านค่าอัตราล้มเหลวของอุปกรณ์ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ และ ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องในหนึ่งปีของอุปกรณ์ ซึ่งในที่นี้จะถือว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการล้มเหลวของจุดโหลดคือ การเกิดการผัดพร่องซึ่งจะนำไปสู่การเกิดแรงดันตก ณ จุดโหลดต่าง ๆ ซึ่งดัชนีเหล่านี้จะบอกถึงผลที่เกิดจากการผัดพร่องและแรงดันตกอันเนื่องจากการผัดพร่อง ณ จุดโหลดต่าง ๆ ได้

จากระบบตัวอย่างตามรูปที่ 4.1 และข้อมูลอัตราการล้มเหลวกับระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับแต่ละครั้งเฉลี่ยของอุปกรณ์ตามตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดต่าง ๆ ได้โดยใช้สมการที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ดังแสดงผลในตารางที่ 4.2

การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด เป็นดัชนีที่มีประโยชน์สำหรับจุดโหลดแต่ละจุดและทำให้ทราบคุณภาพของการจ่ายไฟฟ้า ณ จุดโหลดนั้น แต่ยังไม่สามารถใช้วัดคุณภาพของระบบโดยรวมได้ ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดจะเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟ (Customer-oriented indices) ต่อไป ซึ่งดัชนีดังกล่าวสามารถใช้วัดคุณภาพของระบบโดยรวมได้

ตารางที่ 4.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดของระบบตัวอย่างในรูปที่ 4.1

| จุดโหลด | อัตราการล้มเหลว (ครั้ง/ปี) | ระยะเวลาที่เกิดการ ขัดข้อง ชั่วโมง/ครั้ง | ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องใน หนึ่งปี ชั่วโมง/ปี |
|---------|-------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| L1 | 0.2 | 6 | 1.2 |
| L2 | 0.3 | 5.7 | 1.7 |
| L3 | 0.45 | 6.4 | 2.9 |

4.3 ดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer-oriented Index)

เนื่องจากความพอใจของผู้ใช้ไฟซึ่งเป็นลูกค้าของการไฟฟ้าแต่ละรายที่จะได้รับการบริการที่ดี มีจำนวนครั้งของการเกิดไฟฟ้าดับหรือไฟฟ้าตกน้อยที่สุดเป็นเรื่องสำคัญ ดังนั้นในการคำนวณ

ดัชนีความเชื่อถือได้จึงนิยามอ้างอิงถึงผู้ใช้ โดยการวัดดัชนีที่บ่งบอกถึงค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่เกิดไฟดับและจำนวนเวลาที่ไฟดับต่อปีต่อผู้ใช้รายซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบกันระหว่างระบบต่างๆได้และยังสามารถตั้งเป้าหมายจำนวนครั้งที่หรือเวลาที่ปรับปรุงให้ดีขึ้นและดำเนินการให้เป็นไปตามเป้าหมายได้ ดัชนีดังกล่าวได้แก่

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) หมายถึง ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น ครั้งต่อปีต่อราย

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนครั้งที่ไฟดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด}} \\ &= \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \end{aligned} \quad (4.4)$$

เมื่อ N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

SAIDI (System Average Interruption Duration Index) หมายถึง ดัชนีบอกจำนวนเวลาที่ไฟดับเฉลี่ยของทั้งระบบ มีหน่วยเป็น ชั่วโมงต่อปีต่อราย

$$\begin{aligned} \text{SAIDI} &= \frac{\text{ผลรวมของระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายเกิดไฟดับตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด}} \\ &= \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \end{aligned} \quad (4.5)$$

เมื่อ N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index) หมายถึง ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟดับเฉลี่ยของผู้ใช้ไฟฟ้า

$$\text{CAIFI} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดไฟดับรวมกันตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟดับ}}$$

CAIFI แตกต่างจาก SAIFI คือตัวหารของ SAIFI ใช้จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด แต่ CAIFI ใช้จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดผลกระทบ คือ ที่มีไฟดับเท่านั้น ดังนั้นค่า CAIFI จึงเป็นค่าที่ไม่นิยามหาเนื่องจากหาค่อนข้างยาก

CAIDI (Customer Average Interruption Duration) หมายถึง ดัชนีแสดงจำนวนเวลาที่มีไฟดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อครั้ง

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{จำนวนเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดไฟดับรวมกันตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟดับ}}$$

$$= \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} \quad (4.6)$$

เมื่อ N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

ASAI (Average Service Availability Index) หมายถึง ดัชนีชี้บอการมีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย

$$\begin{aligned} \text{ASAI} &= \frac{\text{จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่มีไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายใช้}}{\text{จำนวนชั่วโมงที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายต้องการไฟฟ้าใช้}} \\ &= \frac{\sum N_i * 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i * 8760} \end{aligned} \quad (4.7)$$

เมื่อ N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

ASUI (Average Service Unavailability Index) หมายถึง ดัชนีแสดงการไม่มีไฟฟ้าใช้ของลูกค้าเฉลี่ย

$$\begin{aligned} \text{ASUI} &= \frac{\text{จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายไม่มีไฟฟ้าใช้}}{\text{จำนวนชั่วโมงที่ผู้ใช้ไฟแต่ละรายต้องการไฟฟ้าใช้}} \\ &= 1 - \text{ASAI} \end{aligned} \quad (4.8)$$

ในการวิจัยนี้จะเน้นไปที่ค่า SAIFI และ SAIDI เพื่อดูผลของแรงดันตกที่เกิดขึ้นในระบบซึ่งจะส่งผลถึงค่าทั้งสองโดยตรง

4.4 การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายโดยใช้การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล แนวทางในการวิเคราะห์

แนวทางในการวิเคราะห์เป็นการใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลร่วมกับแบบจำลองระบบทางไฟฟ้า โดยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลจะถูกนำมาใช้ในการจำลองเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์แบบเฟ้นสุ่ม(Stochastic) เช่น เหตุการณ์ที่เกิดลัดวงจรที่ส่วนต่าง ๆ ของระบบ เหตุการณ์ที่ระบบป้องกันตัดส่วนที่เกิดผิดปกติออกจากระบบ เป็นต้น เนื่องด้วยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นดังที่ยกตัวอย่างไว้จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่เกิดการลัดวงจรออกจากระบบ หรือ ทำให้ต้องนำอุปกรณ์เข้าสู่ระบบเมื่อซ่อมแซมเสร็จแล้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระบบทำให้แรงดันที่จุดโหลดหลังเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลง รูปแบบของแรงดันที่เกิดขึ้นที่จุดโหลดดังกล่าวนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การเกิดข้อขัดข้องที่จุดโหลดนั้น ๆ ดังเช่นที่นำเสนอไว้ในบทที่ 2 เพื่อพิจารณาว่าจะเกิดการตัดวงจรที่จุดโหลดหรือไม่ โดยการ

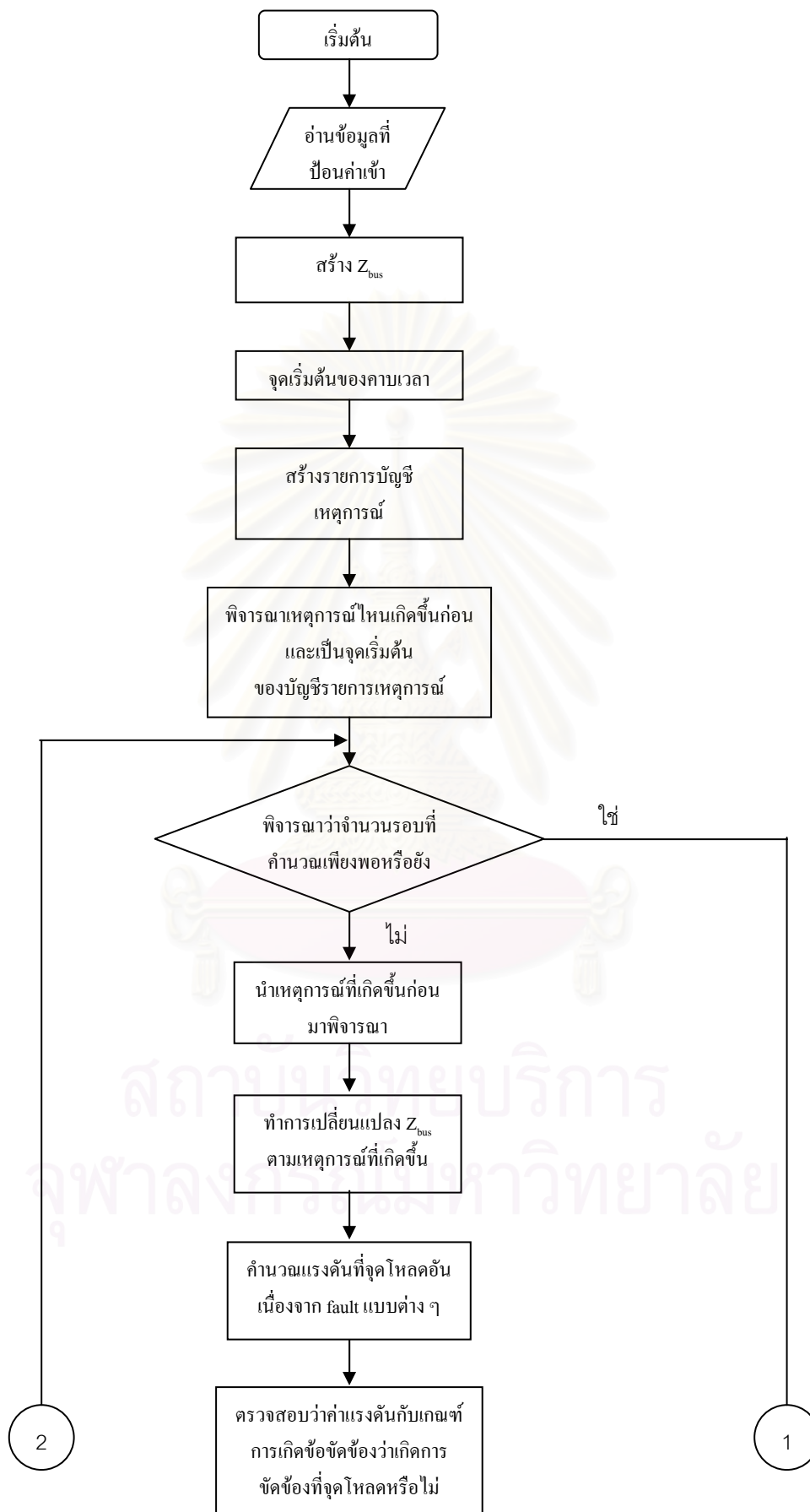
คำนวณหาแรงดันที่จุดโหลดหลังเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ เราจะใช้แบบจำลองไฟฟ้าของระบบสำหรับการคำนวณ ซึ่งตัวแบบจำลองไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

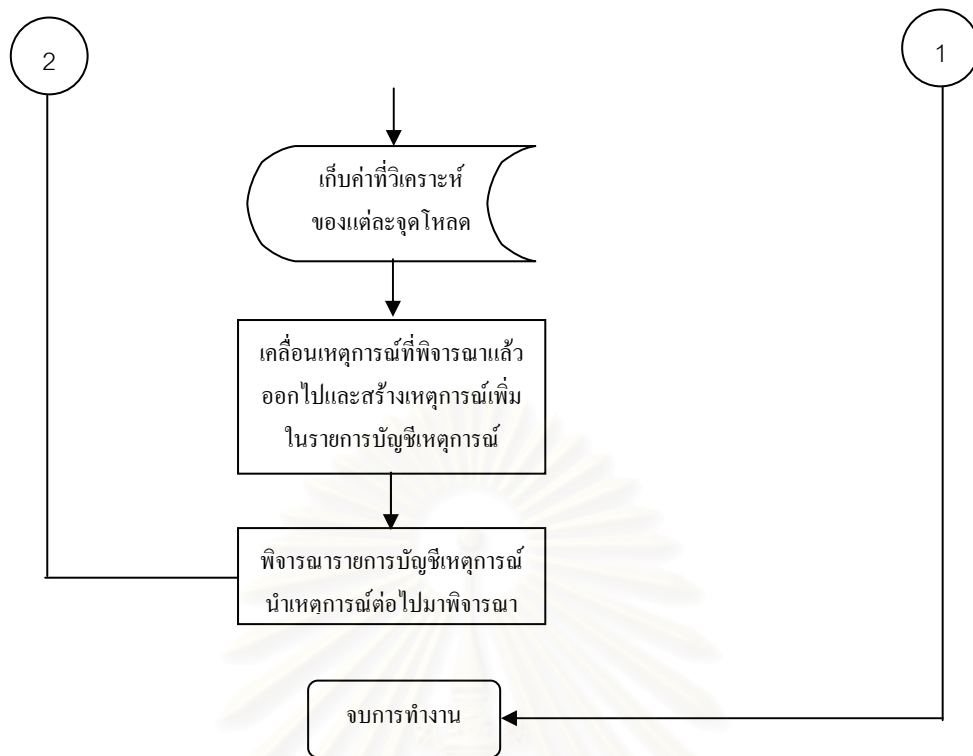
การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลจะอาศัยกระบวนการสุ่ม โดยการจำลองเหตุการณ์ในช่วงเวลาหนึ่งที่เราจะนำไปวิเคราะห์ระบบเป็นจำนวนหลายครั้งเพื่อคำนวณหาคุณสมบัติของระบบ จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบที่ได้จากการจำลอง วิธีการเช่นนี้สามารถนำไปใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนได้ดี

แผนผังแสดงการวิเคราะห์เหตุการณ์จากการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 โดยเริ่มต้นจากการอ่านข้อมูลที่ป้อนเข้าเป็นค่าอิมพีแดนซ์ของแต่ละอุปกรณ์ โครงสร้างการต่อเชื่อมของแต่ละอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้ในการสร้าง Zbus และข้อมูลด้านความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์แต่ละตัวในระบบ เพื่อนำไปจำลองเหตุการณ์ดังวิธีที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1, 3.2.2 ซึ่งเริ่มจากการสุ่มตัวเลขแล้วนำมาใช้ในการจำลองเหตุการณ์จะมีการกระจายแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงซึ่งทำให้เราสามารถประมาณเหตุการณ์ที่อุปกรณ์แต่ละตัวอยู่ในช่วงการทำงานและช่วงเวลาในการล้มเหลวของอุปกรณ์ เราจะเก็บสะสมเหตุการณ์ที่ได้จากการจำลองไว้ในช่วงเวลาที่เราจะนำไปวิเคราะห์ระบบเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอีกครั้ง การจำลองเหตุการณ์ใน 1 คาบเวลาจะถูกพิจารณาซ้ำหลาย ๆ รอบจนกระทั่งได้ข้อมูลแบบสุ่มที่ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นที่พอใจซึ่งใช้ในการประเมินค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

หลังจากที่ได้ทำการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบจนครบทุกอุปกรณ์แล้ว เมื่อมาถึงจุดนี้เมื่อพิจารณาแผนผังในรูปที่ 4.2 ก็จะอยู่ในสถานะ “จุดเริ่มต้นบัญชีรายการของเหตุการณ์” ขึ้นต่อไปเราจะทำการพิจารณาถึงลำดับของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นใน 1 คาบเวลา โดยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนจะถูกยกขึ้นมาพิจารณาก่อนจนหมดช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณา เหตุการณ์ที่ถูกหยิบขึ้นมาพิจารณา เช่น การทำงานล้มเหลวของอุปกรณ์ซึ่งเป็นเหตุมาจากการลัดวงจร(เป็นสาเหตุของการเกิดแรงดันตก) เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการคำนวณ

ระหว่างการจำลองเหตุการณ์ใน 1 คาบเวลานั้น เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาพิจารณาจากบัญชีรายการเหตุการณ์ ซึ่งทำให้แบบจำลองทางไฟฟ้าของระบบเปลี่ยนแปลงไปโดยการเคลื่อนย้ายหรือการแทรกเข้าของอุปกรณ์ของวงจร ซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนค่าสมาชิกที่อยู่ในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Bus Impedance Matrix : Z_{BUS}) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้แรงดันที่จุดโหลดเปลี่ยนแปลง(นั่นคือการเกิดแรงดันตกที่จุดโหลด) ทำให้ต้องคำนวณแรงดันที่จุดโหลดต่าง ๆ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การเกิดข้อขัดข้องในหัวข้อที่ 2.4 เช่น ในระบบจำหน่ายเมื่อเกิดการผิดปกติที่สายไฟบนฟีดเดอร์ ส่งผลให้ค่าแรงดัน ณ จุดโหลดต่างๆบนฟีดเดอร์ตกลง หรือ เกิดไฟตก โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการเปรียบเทียบค่าแรงดัน ณ จุดโหลคนั้นๆกับค่าแรงดันที่จุดโหลคนั้นสามารถทนได้ หากค่าแรงดันที่จ่ายให้กับระบบมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันที่จุดโหลจะทนรับได้ จุดโหลนี้ก็จะเกิดไฟดับ เป็นต้น

เมื่อเหตุการณ์หนึ่งได้ถูกทำการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นในระบบเรียบร้อยแล้วก็จะถูกนำออกไปจากการพิจารณาดังที่แสดงไว้ในแผนผังรูปที่ 4.2 แล้วก็กลับไปจำลองเหตุการณ์เพิ่มจากนั้นนำเหตุการณ์ที่จำลองขึ้นมาใหม่ไปใส่ไว้ในบัญชีเหตุการณ์ ต่อจากนั้นเหตุการณ์ในลำดับถัดไปซึ่งอยู่ในรายการบัญชีเหตุการณ์จะถูกนำขึ้นมาพิจารณาซึ่งเหตุการณ์ที่พิจารณาต้องเกิดขึ้นก่อนถึงจุดสุดท้ายของคาบเวลาที่เรากำหนดไว้ การจำลองเหตุการณ์ในหนึ่งคาบเวลาจะถูกทำซ้ำจนกระทั่งได้ค่า relative uncertainty ตามที่ต้องการจึงหยุดคำนวณ

4.5 วิธีการคำนวณแรงดันที่จุดโหนด

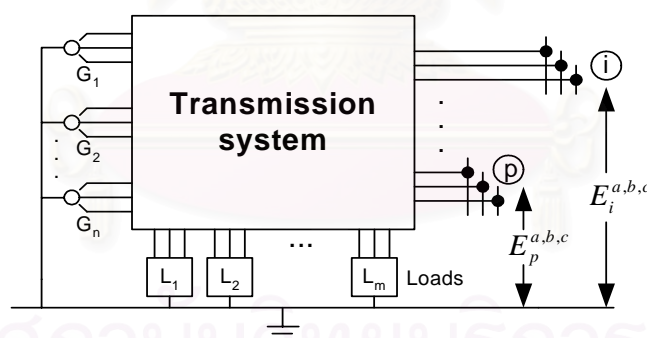
การคำนวณการลัดวงจรโดยใช้ Z_{BUS}

ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ การนำแสดงระบบ (System Representation) และ การคำนวณกระแสและแรงดันผิดปกติ (Fault currents and voltages) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

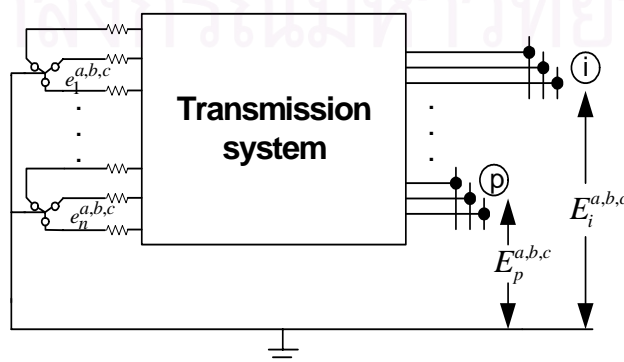
ก) การนำแสดงระบบ (System Representation)

การนำแสดงระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟสที่ศึกษาภายใต้สภาวะคงตัว (Steady state) ดังรูปที่ 4.3 โดยทั่วไปแล้วความถูกต้องที่เพียงพอในระดับหนึ่งสำหรับการศึกษาเรื่องการลัดวงจรนั้นสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองของระบบอย่างง่าย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 โดยอาศัยสมมติฐานต่อไปนี้

- 1) ทำการแทนเครื่องจักรแต่ละตัวในระบบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ต่ออยู่กับค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องจักร
- 2) ละเลย shunt connections, line charging
- 3) ตั้งหม้อแปลงทุกเครื่องไว้ที่ nominal taps



รูปที่ 4.3 รูปตัวแทนระบบ 3 เฟสในระบบไฟฟ้ากำลัง

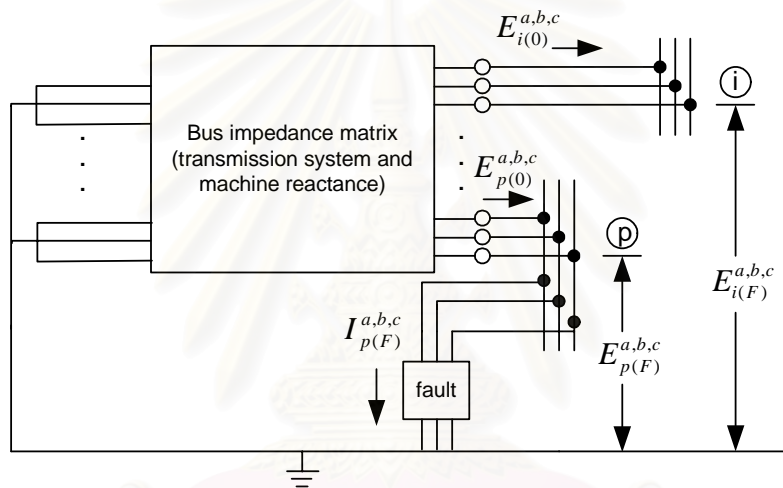


รูปที่ 4.4 ระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟสสำหรับการศึกษาลัดวงจร

ข) กระแสและแรงดันผิดปกติ

ในการใช้ Z_{BUS} จะให้ความสะดวกในแง่ของการคำนวณกระแสและแรงดันลัดวงจรในกรณีที่กราวด์ (Ground) ถูกเลือกให้เป็นจุดอ้างอิง (Reference) และข้อดีที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือเมื่อ Z_{BUS} ถูกสร้างขึ้นมา สมาชิกใน Z_{BUS} จะสามารถนำมาใช้ในการคำนวณกระแสและแรงดันอันเนื่องจากการผิดปกติต่าง ๆ ได้โดยตรง

การนำแสดงระบบที่ผิดปกติที่บัส p แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 โดยใช้ทฤษฎีของเทวินิน (Thevenin's theorem) ค่าอิมพีแดนซ์ภายใน (Internal impedance) จะถูกแทนด้วยบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ที่รวมค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องจักรเข้าไปด้วย และค่าแรงดันเปิดวงจรจะแทนด้วยค่าแรงดันบัสก่อนเกิดการผิดปกติ



รูปที่ 4.5 การนำแสดงระบบไฟฟ้า 3 เฟส ที่เกิดข้อผิดพลาด ณ บัส p สมการสมรรถนะของระบบระหว่างเกิดการผิดปกติคือ

$$\bar{E}_{BUS(F)}^{a,b,c} = \bar{E}_{BUS(0)}^{a,b,c} - Z_{BUS}^{a,b,c} \bar{I}_{BUS(F)}^{a,b,c} \tag{4.9}$$

ค่าเวกเตอร์แรงดันที่เราไม่ทราบค่าคือ

$$\bar{E}_{BUS(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} E_{1(F)}^{a,b,c} \\ \dots \\ E_{p(F)}^{a,b,c} \\ \dots \\ E_{n(F)}^{a,b,c} \end{bmatrix}$$

โดยที่สมาชิกของ $\bar{E}_{BUS(F)}^{a,b,c}$ คือ เวกเตอร์ของแรงดัน 3 เฟส $E_{i(F)}^{a,b,c}$ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$

เวกเตอร์แรงดันที่เราทราบค่าคือแรงดันก่อนเกิดการผิดปกติ มีค่า

$$\bar{E}_{BUS(0)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} E_{1(0)}^{a,b,c} \\ \dots \\ E_{p(0)}^{a,b,c} \\ \dots \\ E_{n(0)}^{a,b,c} \end{bmatrix}$$

$$E_{i(F)}^{a,b,c} = E_{i(0)}^{a,b,c} - Z_{ip}^{a,b,c} (Z_F^{a,b,c} + Z_{pp}^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c} \quad (4.15)$$

แต่เป็นที่นิยมในการแสดงพารามิเตอร์ของวงจรที่ผิดปกติในรูปแบบของแอดมิตแตนซ์ กระแสผิดปกติ 3 เฟสที่บัส p คือ

$$I_{p(F)}^{a,b,c} = Y_F^{a,b,c} E_{p(F)}^{a,b,c} \quad (4.16)$$

โดยที่ $Y_F^{a,b,c}$ คือ แอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ 3 เฟสสำหรับการผิดปกติ แทนค่า $I_{p(F)}^{a,b,c}$ จากสมการที่ (4.16) ทำให้สมการที่ p ของสมการที่ (4.10) เป็น

$$E_{p(F)}^{a,b,c} = E_{p(0)}^{a,b,c} - Z_{pp}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c} E_{p(F)}^{a,b,c} \quad (4.17)$$

แก้สมการ (4.17) เพื่อหาค่า $E_{p(F)}^{a,b,c}$ ซึ่งมีค่าดังนี้

$$E_{p(F)}^{a,b,c} = (U + Z_{pp}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c} \quad (4.18)$$

โดยแทนค่า $E_{p(F)}^{a,b,c}$ ในสมการที่(4.16) จะได้กระแส 3 เฟสที่บัส p (บัสที่เกิดการผิดปกติ) มีค่าดังนี้

$$I_{p(F)}^{a,b,c} = Y_F^{a,b,c} (U + Z_{pp}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c} \quad (4.19)$$

ในทำนองเดียวกัน แรงดัน 3 เฟสที่บัสอื่น ๆ ที่ไม่ใช่บัส p สามารถหาได้จาก

$$E_{i(F)}^{a,b,c} = E_{i(0)}^{a,b,c} - Z_{ip}^{a,b,c} (Y_F^{a,b,c} (U + Z_{pp}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c}), \quad i \neq p \quad (4.20)$$

4.6 การคำนวณการลัดวงจรสำหรับเครือข่ายแบบ 3 เฟสสมมูลโดยใช้ Z_{BUS}

หลักการคำนวณในหัวข้อนี้ประกอบด้วย การแปลงค่าจากระบบอ้างอิงแบบเฟสไปเป็น Symmetrical components, การคำนวณการผิดปกติแบบ 3 เฟส (Three Phase Fault) ซึ่งเป็นประเภทของความผิดปกติที่มีผลต่อระบบไฟฟ้ารุนแรงมากที่สุด และการคำนวณการผิดปกติแบบ 1 เฟส (Single Line to Ground Fault) ซึ่งเป็นการผิดปกติประเภทที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งมากที่สุด โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราจะละเลยการคำนวณการผิดปกติแบบ Line-to-Line Fault เนื่องจากการผิดปกติที่เกิดขึ้นน้อยและไม่รุนแรงเท่าการผิดปกติที่กล่าวมาทั้ง 2 แบบ

4.6.1 การแปลงไปเป็น Symmetrical components

สมการที่จะใช้ในหัวข้อนี้จะเป็นสมการสำหรับการคำนวณหากระแสและแรงดันผิดปกติสำหรับเครือข่ายแบบ 3 เฟสสมมูลโดยใช้ Symmetrical components โดยที่ primitive impedance matrix สำหรับชิ้นส่วน(element)ที่เป็นแบบ 3 เฟสสมมูลคือ

$$Z_{pq}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} Z_{pq}^s & Z_{pq}^m & Z_{pq}^m \\ Z_{pq}^m & Z_{pq}^s & Z_{pq}^m \\ Z_{pq}^m & Z_{pq}^m & Z_{pq}^s \end{bmatrix}$$

ซึ่งเมตริกซ์ข้างต้นสามารถทำให้เป็นเมตริกซ์แนวทแยงได้โดยการแปลง $(T_s^*)^t z_{pq}^{a,b,c} T_s$ ซึ่งจะได้

$$z_{pq}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} z_{pq}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & z_{pq}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & z_{pq}^{(2)} \end{bmatrix}$$

โดยที่ $z_{pq}^{(0)}, z_{pq}^{(1)}, z_{pq}^{(2)}$ คือ อิมพีแดนซ์ลำดับ 0,1,2 ตามลำดับ โดยปกติแล้วอิมพีแดนซ์ลำดับ 1 และ 2 จะมีค่าเท่ากันสำหรับการคำนวณการลัดวงจร

ในทำนองเดียวกันแต่ละ $y_{ij,kl}^{a,b,c}$ ใน primitive admittance matrix และแต่ละค่าของ $Z_{ij}^{a,b,c}$ ในบัสอิมพีแดนซ์สามารถทำให้กลายเป็นเมตริกซ์แบบแนวทแยงได้ด้วยการแปลงโดยใช้เมตริกซ์ T_s ซึ่งจะได้

$$y_{ij,kl}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} y_{ij,kl}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & y_{ij,kl}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & y_{ij,kl}^{(2)} \end{bmatrix} \quad z_{ij}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} z_{ij}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & z_{ij}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & z_{ij}^{(2)} \end{bmatrix}$$

โดยทั่วไปแล้วจะให้ค่าแรงดันบัสทุก ๆ บัสก่อนเกิดการผิดพลาดมีค่าทั้งขนาดและมุม โดยสมมติว่าขนาดของแรงดัน line-to-ground $E_{i(0)}$ มีค่า 1 p.u. แล้ว แรงดันบัส i ก่อนเกิดการผิดพลาดคือ

$$E_{i(0)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

เมื่อทำแปลงไปเป็น Symmetrical component จะได้ว่า

$$E_{i(0)}^{0,1,2} = (T_s^*)^t E_{i(0)}^{a,b,c}$$

$$E_{i(0)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

อิมพีแดนซ์เมตริกซ์สำหรับการผิดพลาด $Z_F^{a,b,c}$ สามารถแปลงโดยเมตริกซ์ T_s ไปเป็น $Z_F^{0,1,2}$ โดยเมื่อแปลงแล้วจะได้เมตริกซ์แนวทแยงถ้าการผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นแบบสมดุลย์

ในทำนองเดียวกันสมการสำหรับการคำนวณกระแสและแรงดันผิดพลาดสามารถเขียนในรูปของ Symmetrical components ได้ ค่ากระแสที่บัส p (บัสที่เกิดการผิดพลาด) คือ

$$I_{p(F)}^{0,1,2} = (Z_F^{0,1,2} + Z_{pp}^{0,1,2})^{-1} E_{p(0)}^{0,1,2} \quad (4.21)$$

หรือ

$$I_{p(F)}^{0,1,2} = Y_F^{0,1,2} (U + Z_{pp}^{0,1,2} Y_F^{0,1,2})^{-1} E_{p(0)}^{0,1,2} \quad (4.22)$$

ค่าแรงดันที่บัส p มีค่า

$$E_{p(F)}^{0,1,2} = Z_F^{0,1,2} (Z_F^{0,1,2} + Z_{pp}^{0,1,2})^{-1} E_{p(0)}^{0,1,2} \quad (4.23)$$

หรือ

$$E_{p(F)}^{0,1,2} = (U + Z_{pp}^{0,1,2} Y_F^{0,1,2})^{-1} E_{p(0)}^{0,1,2} \quad (4.24)$$

แรงดันที่บัสอื่น ๆ ที่ไม่ใช่บัส p มีค่า

$$E_{i(F)}^{0,1,2} = E_{i(0)}^{0,1,2} - Z_{ip}^{0,1,2} (Z_F^{0,1,2} + Z_{pp}^{0,1,2})^{-1} E_{p(0)}^{0,1,2} \quad (4.25)$$

หรือ

$$E_{i(F)}^{0,1,2} = E_{i(0)}^{0,1,2} - Z_{ip}^{0,1,2} (Y_F^{0,1,2} (U + Z_{pp}^{0,1,2} Y_F^{0,1,2})^{-1} E_{p(0)}^{0,1,2}) \quad (4.26)$$

4.6.1 การผิดพ่วง 3 เฟส (3-phase-to-ground fault)

กระแสและแรงดันผิดพ่วงสำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟสสามารถหาได้โดยการแทนค่าอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ผิดพ่วงแบบ 3 เฟสในรูปของ Symmetrical components ลงไปในสมการที่ (4.21),(4.23) และ (4.25) ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ผิดพ่วงสำหรับ 3 เฟส คือ

$$Z_F^{0,1,2} = \begin{bmatrix} z_F + 3z_g & 0 & 0 \\ 0 & z_F & 0 \\ 0 & 0 & z_F \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

ค่ากระแสและแรงดัน 3 เฟสผิดพ่วงสามารถหาได้โดยการแทนค่าสมการ (4.27) ลงใน (4.21),(4.23) และ (4.25) ซึ่งจะได้กระแสที่บัส p มีค่า

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} z_F + 3z_g + Z_{pp}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & z_F + Z_{pp}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & z_F + Z_{pp}^{(1)} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

แรงดันที่บัส p มีค่า

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_F + 3z_g & 0 & 0 \\ 0 & z_F & 0 \\ 0 & 0 & z_F \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}z_F}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

เขียนให้อยู่ในรูปของแรงดันเฟสได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(a)} \\ E_{p(F)}^{(b)} \\ E_{p(F)}^{(c)} \end{bmatrix} = \frac{z_F}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

แรงดันที่บัสอื่นที่ไม่ใช่บัส p มีค่าดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{ip}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{ip}^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \sqrt{3} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 - \frac{Z_{ip}^{(1)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

เขียนให้อยู่ในรูปของแรงดันเฟสได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(a)} \\ E_{i(F)}^{(b)} \\ E_{i(F)}^{(c)} \end{bmatrix} = \left(1 - \frac{Z_{ip}^{(1)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \right) \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

4.6.2 การผิดพ่วงแบบ 1 เฟส (Line-to-ground fault)

เมตริกซ์แอดมิทแตนซ์ขณะเกิดความผิดพ่วง (Fault admittance matrix) สำหรับการผิดพ่วงแบบเฟสเดียวที่เฟส a คือ

$$Y_F^{0,1,2} = \frac{y_F}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.30)$$

กระแสผิดพ่วงและแรงดันบัสสามารถคำนวณได้โดยแทนสมการที่ (4.30) สำหรับค่า $Y_F^{0,1,2}$ ลงในสมการ (4.20), (4.22) และ (4.24) ค่ากระแสผิดพ่วงที่บัส p คือ

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{y_F}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 1 + Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(2)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(2)} \frac{y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(2)} \frac{y_F}{3} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูป

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

เขียนให้อยู่ในรูปของกระแสเฟสได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(a)} \\ I_{p(F)}^{(b)} \\ I_{p(F)}^{(c)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.31)$$

ค่าแรงดันที่บัส p ซึ่งเป็นบัสที่เกิดการผิดพลาดมีค่า

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 1 + Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูป

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} -Z_{pp}^{(0)} \\ Z_{pp}^{(0)} + Z_{pp}^{(1)} + 3z_F \\ -Z_{pp}^{(1)} \end{bmatrix}$$

เขียนให้อยู่ในรูปของแรงดันเฟสได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(a)} \\ E_{p(F)}^{(b)} \\ E_{p(F)}^{(c)} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} \frac{3z_F}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ a^2 - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ a - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \end{bmatrix}$$

ค่าแรงดันที่บัสอื่นๆนอกจากบัส p มีค่าดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{ip}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูป

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} \\ Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix}$$

เขียนให้อยู่ในรูปของแรงดันเฟสได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(a)} \\ E_{i(F)}^{(b)} \\ E_{i(F)}^{(c)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - \frac{1}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} + 2Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (4.32)$$

โดยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการผิดพลาด 2 รูปแบบนี้เท่านั้น เนื่องจากการผิดพลาดแบบ 3 เฟสเป็นการผิดพลาดที่รุนแรงที่สุด และการผิดพลาดแบบ 1 เฟสเป็นการผิดพลาดที่พบบ่อยที่สุด ซึ่งการคำนวณการลัดวงจรโดยใช้ Z_{bus} ถูกนำมาใช้หาค่าแรงดันบัส ณ จุดโหลดต่าง ๆ ขณะที่เกิดการผิดพลาดขึ้นในระบบเพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับค่าแรงดันสูงสุดที่จุดโหลดสามารถทนได้เพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าจุดโหลคนั้นจะเกิดไฟฟ้าดับหรือไม่ ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ต่อไป โดยจะละเลยการผิดพลาดแบบ Line-to-Line Fault



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

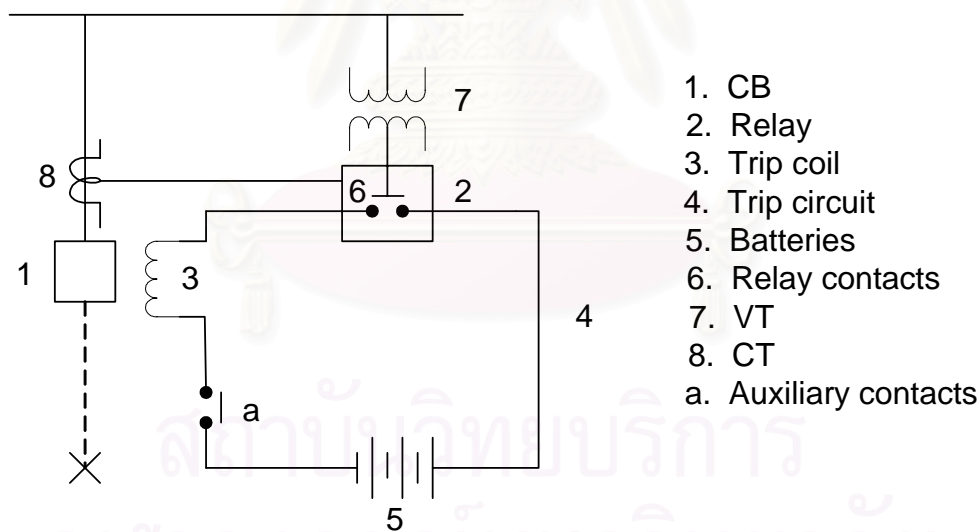
บทที่ 5

การตั้งค่ารีเลย์แรงดันต่ำเกินของโรงงานอุตสาหกรรม

5.1 รีเลย์ป้องกัน (Protective relay) [26]

รีเลย์ป้องกัน (Protective relay) มีหน้าที่ตรวจสอบสถานะของระบบไฟฟ้าว่าเกิดการผิดปกติหรือไม่จากสัญญาณขาเข้าที่รับจากหม้อแปลงแรงดัน (VT) และ/หรือ หม้อแปลงกระแส (CT) รีเลย์ป้องกันจะตรวจสอบสัญญาณกระแสและแรงดันที่ได้ด้วยวิธีการต่างๆ ขึ้นกับชนิดของรีเลย์ และหากรีเลย์พบว่าค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้นั้นมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้ รีเลย์จะทำให้หน้าสัมผัส (Contact) ปิด ทำให้มีกระแสไหลผ่าน Trip coil ของ Circuit breaker ซึ่ง Circuit breaker จะทำการเปิดวงจรเพื่อแยกส่วนที่เกิดการผิดปกติออกจากระบบ โดยจะแยกอุปกรณ์ ออกจากระบบให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ทั้งนี้เพื่อจำกัดบริเวณที่ได้รับผลกระทบให้ต่ำที่สุด

รีเลย์ป้องกันจัดว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของระบบป้องกัน



รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกัน

ตัวอย่างของระบบป้องกันแสดงดังรูปที่ 5.1 ประกอบด้วย Circuit breaker (1) อักษร X แทนวงจรที่ต้องการป้องกันซึ่งในรูปเป็นเส้นประ เมื่อเกิดการผิดปกติขึ้นในวงจรที่ต้องการป้องกัน รีเลย์ (2) ซึ่งรับสัญญาณมาจาก VT (7) และ CT (8) คอนแทคของรีเลย์ (6) จะเคลื่อนที่ปิดเข้าหากัน เมื่อคอนแทคปิดจะมีกระแสไฟฟ้าไหลจากแบตเตอรี่ (5) ในวงจรทริป (4) เมื่อมีกระแสผ่านขดลวดทริปของสวิตช์อัตโนมัติ (3) คอนแทคเตอร์ของสวิตช์อัตโนมัติจะเปิดวงจรออกจากระบบไฟฟ้า

การตรวจจับการเกิดการผิดปกติของรีเลย์ (Detection of fault)

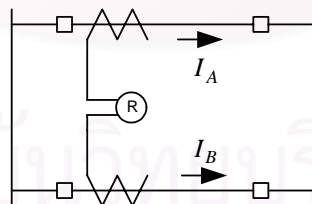
โดยทั่วไปในขณะที่เกิดการผิดปกติขึ้น ปริมาณกระแสจะเพิ่มขึ้นและแรงดันจะมีขนาดลดลง การเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันนี้ จะส่งผลให้ปริมาณอื่นๆ เปลี่ยนแปลงตามมา เช่น มุมเฟสของกระแสและแรงดัน, ส่วนประกอบฮาร์โมนิก, กำลังไฟฟ้าจริง (Active power), กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive power) และความถี่ของระบบ เป็นต้น การทำงานของรีเลย์ป้องกัน จะใช้ปริมาณทางไฟฟ้าเหล่านี้เป็นตัวกระตุ้นให้ทำงาน ซึ่งเราสามารถจำแนกได้ดังนี้

การตรวจวัดระดับ (Level detection)

คือ รีเลย์ที่ใช้ระดับของปริมาณต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า เช่น กระแส หรือ แรงดัน เป็นตัวกระตุ้นการทำงาน ค่าที่เริ่มให้รีเลย์ทำงานเรียกว่า ค่า Pick up เช่น รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent relay) เมื่อกระแสมีค่ามากกว่าค่า Pick up รีเลย์จะทำงาน หรือ รีเลย์แรงดันต่ำเกิน (Undervoltage relay) เมื่อแรงดันต่ำกว่าค่า Pick up รีเลย์จะทำงาน แต่ถ้าแรงดันสูงกว่าค่า Pick up รีเลย์จะไม่ทำงาน

การเปรียบเทียบขนาด (Magnitude comparison)

คือ รีเลย์ที่ทำการเปรียบเทียบปริมาณต่าง ๆ เช่น รีเลย์เปรียบเทียบกระแสในวงจรขนาน ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งเปรียบเทียบกระแส I_A และ I_B ถ้ากระแสมีค่าต่างกันเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้รีเลย์จะทำงาน

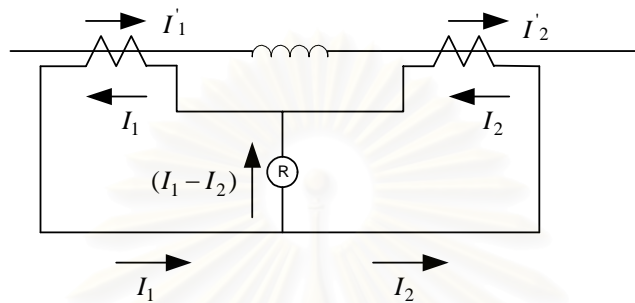


รูปที่ 5.2 รีเลย์เปรียบเทียบกระแสในวงจรขนาน

การเปรียบเทียบความแตกต่างของกระแส (Differential current comparison)

รีเลย์แบบนี้จัดว่ามีความไวมากที่สุดในการตรวจจับการเกิดการผิดปกติ หลักการสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 5.3 เป็นขดลวดของอุปกรณ์ไฟฟ้า มี CT แปลงกระแสทางเข้าและทางออกของขดลวด โดยจัดขั้วของ CT ให้ได้กระแสผลต่าง ($I_1 - I_2$) ผ่านเข้าไปยังรีเลย์ ในการทำงานปกติ กระแสเข้าขดลวดและออกจากขดลวดจะเท่ากัน ทำให้กระแสผลต่าง ($I_1 - I_2$) ผ่านเข้าไปยังรีเลย์

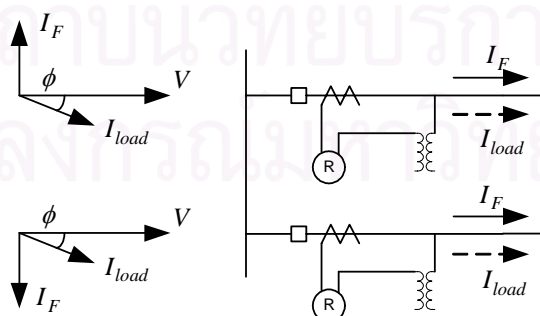
ในการทำงานปกติกระแสเข้าขดลวดและออกจากขดลวดจะเท่ากัน ทำให้กระแสผลต่างมีค่าเป็นศูนย์ รีเลย์จะไม่ทำงาน แต่ถ้ามีการผิดปกติที่ขดลวด จะทำให้กระแสเข้าไม่เท่ากับกระแสออก เกิดกระแสผลต่างขึ้น ทำให้รีเลย์ทำงาน รีเลย์นี้สามารถตั้งค่า Pick up ค่า ๆ ได้ ทำให้มีความไวสูง การป้องกันแบบนี้มักใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ บัส และหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบกระแสผลต่าง

การเปรียบเทียบมุมเฟส (Phase angle comparison)

รีเลย์ชนิดนี้จะทำการเปรียบเทียบมุมเฟสของปริมาณ 2 ปริมาณ ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณหนึ่งจะเป็นกระแส เนื่องจากต้องการหาทิศทางของกระแสเทียบกับปริมาณอ้างอิง เช่น การตรวจจับทิศทาง การไหลของกำลังไฟฟ้า ถ้าเป็นกรณีปกติกระแสจะทำมุมอยู่ระหว่าง $\pm 30^\circ$ กับแรงดัน แต่ถ้ากำลังไฟฟ้าไหลกลับทางมุมจะกลายเป็น $180^\circ \pm 30^\circ$ หรือการตรวจจับทิศทางของกระแสผิดปกติ ซึ่งโดยทั่วไป กระแสผิดปกติในทิศทางไปข้างหน้าจะทำมุม $+90^\circ$ กับแรงดัน แต่ถ้ากระแสผิดปกติกลับทางจะทำมุม -90° กับแรงดัน แสดงในรูปที่ 5.4 อย่างไรก็ตามปริมาณอ้างอิง อาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันก็ได้



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบมุมเฟส

ไฟลตรีเลย์ (Pilot relaying)

รีเลย์บางชนิดต้องอาศัยสัญญาณจากรีเลย์ที่อยู่ทีสถานีไฟฟ้าย่อยอื่นในการทำงานซึ่งสัญญาณนี้จะถูกส่งผ่านทาง Pilot channels เช่น สายส่ง (Power line carrier) คลื่นไมโครเวฟ เส้นใยแก้วนำแสง (Fiber optic) หรือทางสายโทรศัพท์ก็ได้

การตรวจจับฮาร์โมนิก (Harmonic content)

โดยปกติรูปคลื่นของกระแสและแรงดันจะเป็นคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal) ที่ความถี่พื้นฐานของระบบไฟฟ้า ในเหตุการณ์บางอย่าง เช่น การอิ่มตัวของหม้อแปลง หรือ กระแสทรานเซียนต์ต่างๆ รูปคลื่นจะผิดเพี้ยนไป เนื่องจากมีฮาร์โมนิกปนอยู่ในรีเลย์บางชนิดจึงมีฟิลเตอร์ เพื่อตรวจจับฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นเพียงชั่วคราว ก็จะส่งสัญญาณป้องกันไม่ให้รีเลย์ทำงาน

การตรวจจับความถี่ (Frequency sensing)

ระบบไฟฟ้ากำลังในประเทศไทยตามปกติจะมีความถี่ 50 Hz เหตุการณ์ผิดปกติบางชนิดจะทำให้ความถี่สูงขึ้นหรือน้อยลงได้เราสามารถตรวจจับความถี่ได้โดยใช้ฟิลเตอร์ ซึ่งก็จะสามารถรู้ถึงเหตุการณ์ผิดปกตินั้นได้เช่นกัน

รีเลย์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ตามหลักการทำงานได้ 3 ชนิดคือ

- 1) Electromechanical relay
- 2) Solid State relay
- 3) Digital relay

Electromagnetic relay

คือรีเลย์ที่อาศัยกระแสไฟฟ้าสร้างแรงดึงดูดหรือแรงบิดทางแม่เหล็กทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทางกลของหน้าสัมผัส รีเลย์แบบนี้ นับว่าเป็นรีเลย์ที่ใช้กันมาตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงปัจจุบันก็มีใช้อยู่

Electromechanical Relay อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามลักษณะการทำงานคือ

- 1) รีเลย์แบบอาศัยแรงดูดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic attraction)
- 2) รีเลย์แบบอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction)

Solid State relay (Static relay)

การขยายตัวอย่างรวดเร็วและความซับซ้อนของระบบไฟฟ้าสมัยใหม่ทำให้มีความต้องการรีเลย์ ป้องกันที่มีคุณภาพดี และสามารถทำงานที่ละเอียดซับซ้อนได้ซึ่งเราสามารถตอบสนองความต้องการเหล่านี้ได้ในปัจจุบัน เนื่องจากการพัฒนาสารกึ่งตัวนำและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ มาใช้ทำรีเลย์ป้องกัน รีเลย์แบบใหม่นี้เรียกว่า Solid State relays หรือ Static relays หน้าที่การทำงานและลักษณะสมบัติทุกอย่างของรีเลย์ไฟฟ้ากลสามารถทำได้โดย Static relays รีเลย์แบบใหม่นี้ใช้วงจรอิเล็คทรอนิกส์ซึ่งอาจใช้ Discrete components หรือ Integrated circuits (IC)

เนื่องจากส่วนประกอบของ Static relays เป็นวงจรไฟฟ้าสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นจึงไม่อาจทนต่ออุณหภูมิสูง ความชื้นสูง แรงดันเกิน และ กระแสเกินมาก ๆ ได้ Static relays รุ่นแรก ๆ จึงมีเปอร์เซ็นต์เสียหายสูง แต่จากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลากว่า 20 ปี จึงทำให้ Static relays สมัยใหม่มีคุณภาพดี และทำงานได้หลายหลากกว่ารีเลย์ไฟฟ้ากล บริษัทชั้นนำทางด้านการทำรีเลย์ป้องกันจึงได้เลิกผลิตรีเลย์ไฟฟ้ากล และหันมาพัฒนาและผลิต Static relays แทน

Static relays ต้องการ Independent power supplies เนื่องจากไม่มีพลังงานจากสปริงหรือแรงบิดจากกระแสผิดพ่วง จึงทำให้เกิดปัญหาเรื่อง Reliability

ลักษณะสมบัติของ Static relays สามารถปรับปรุงได้โดย Adjustable logic elements ผิดกับลักษณะสมบัติที่แน่นอน (Fixed) ของรีเลย์แบบไฟฟ้ากล

Static relays ส่วนมากออกแบบ ประกอบ และทดสอบทั้งระบบ ทำให้ความรับผิดชอบขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตดังนั้นสำหรับรีเลย์ที่ซับซ้อนมาก ๆ และต้องการผู้เชี่ยวชาญในการประกอบและเดินสาย บริษัทผู้ผลิตจะทำได้อย่างดี ทำให้ได้ระบบที่มีความเชื่อถือได้สูง

วงจรของ Static relays อาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- 1) Analog circuits สำหรับตรวจสอบความผิดปกติ (Fault sensing) หรือ วงจรวัด (Measuring circuits)
- 2) Digital logic circuits สำหรับการทำงานของ Logical variables

ลักษณะสมบัติแบบหนึ่งของรีเลย์ป้องกันสามารถทำได้ด้วยวงจรไฟฟ้าหลายแบบ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ในการที่จะดูวิธีการออกแบบรีเลย์ และ ไม่มีความจำเป็นด้วย

Digital relay (Computer relay)

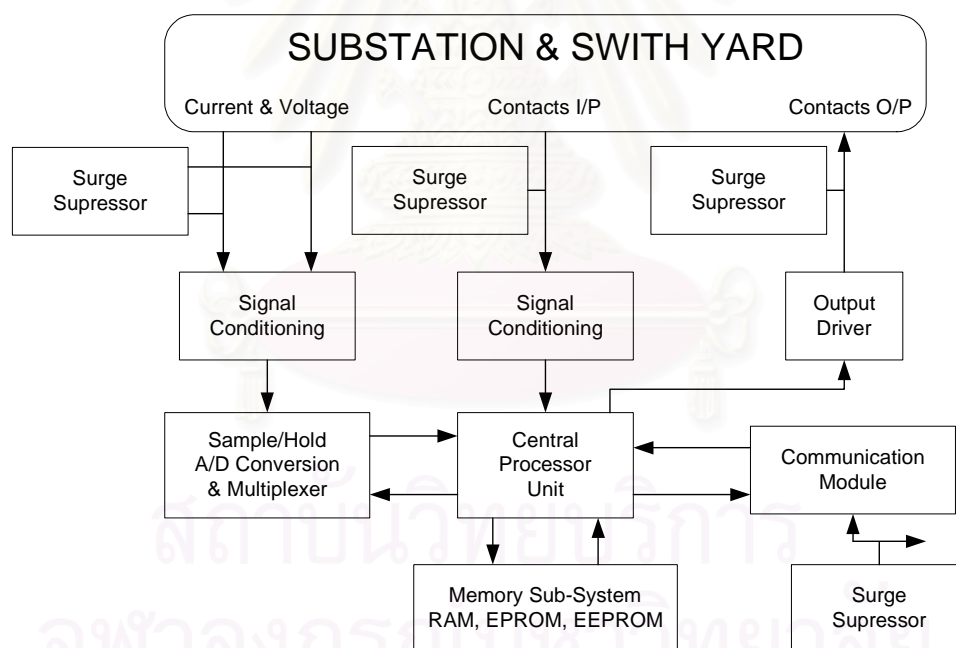
จากการสังเกตพบว่ารีเลย์ป้องกันมีลักษณะเหมือนกับ Analog computer ซึ่งรับสัญญาณเข้าประมวลสัญญาณเหล่านั้น แล้วสร้างเป็นแรงบิด หรือ Logic output ซึ่งคือ System quantity และทำการตัดสินใจเพื่อให้ Contact ปิดหรือให้ Output signal เมื่อได้มีการพัฒนา Microprocessors ขึ้นจะ

เห็นได้ว่า Digital computer ก็สามารทำงานเป็นรีเลย์ป้องกันได้ รีเลย์แบบนี้จึงเรียกว่า Computer relay หรือ Digital relay

แผนภาพของ Digital relay จะมีแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 5.5 ซึ่งประกอบไปด้วย

- ระบบประมวลผลกลาง (CPU)
- ระบบหน่วยความจำ
- ระบบรับและรวบรวมข้อมูล
- Signal conditioning
- ระบบป้องกัน Surge
- ระบบ Power supply
- ระบบสื่อสารข้อมูล

Digital relay อาจจะมีส่วนประกอบต่าง ๆ มากกว่าที่แสดงในรูปก็ได้ที่จะทำหน้าที่การป้องกันเหมือนกัน หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า Digital relay อาจมีหน้าที่ในการป้องกันเหมือนกัน ทั้งที่ออกแบบ Hardware และ Software ต่างกัน



รูปที่ 5.5 Block diagram ของ Digital relay

รีเลย์แรงดัน (Voltage relay)

รีเลย์แรงดัน เป็นรีเลย์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับความผิดปกติของแรงดัน เช่น แรงดันตก, แรงดันเกิน, แรงดันไม่สมดุล, แรงดันกลับเฟส และ แรงดัน Negative sequence มากเกินไป โดยที่รีเลย์

แบบนี้้อาจจะทำงานแบบทันทีทันใด (Instantaneous) หรือ มีการหน่วงเวลา (Time delay) เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดเมื่อเกิดแรงดันทรานเซียนต์ชั่วคราวในระบบ รีเลย์แรงดันที่ใช้งานมีดังนี้

Overvoltage relay[59/59N] , Undervoltage relay[27]

- ควบคุมการทำงานของ Capacitor
- ป้องกันการเกิดแรงดันเกินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ส่งผ่านแหล่งจ่ายกำลังโดยอัตโนมัติ
- มีการตัดโหลดเมื่อเกิดแรงดันตก
- ป้องกันการเกิดแรงดันตกสำหรับมอเตอร์

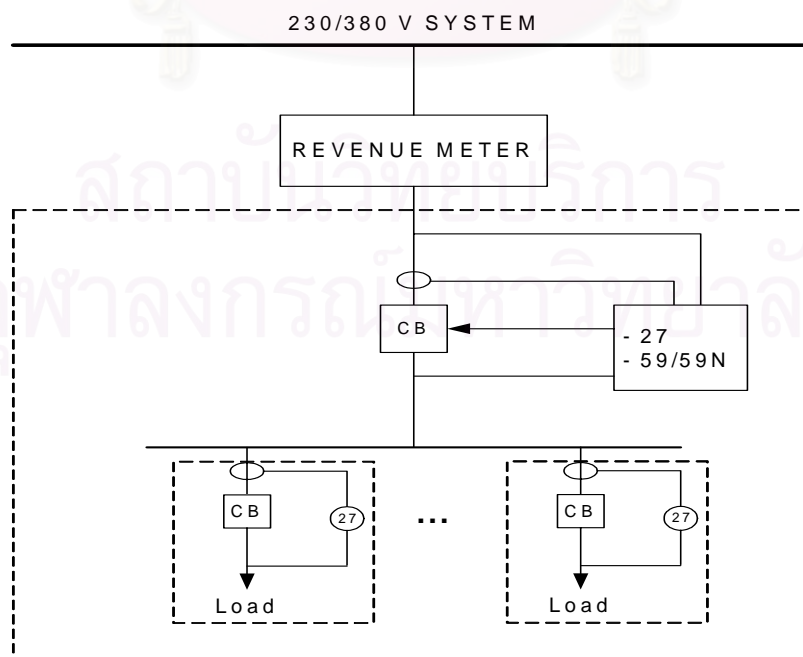
Voltage balance relay[60]

- มีหน้าที่ป้องกันการทำงานผิดพลาดของ Voltage control relay และ Synchronizing relay
- เป็นตัวตรวจจับการกลับ Phase ของแรงดัน
- ป้องกันการพยายามที่เดินเครื่อง Motor ในขณะที่ Phase 1 ถูกตัดออก

Negative sequence Voltage relay

- เป็นตัวคอยตรวจจับ Single phasing การไม่สมดุลในแรงดัน Phase และ การกลับ Phase ของการหมุนของ Phase ของแหล่งจ่ายไฟป้องกันอุปกรณ์ที่สามารถหมุนได้ โดยในที่นี้เราจะพิจารณาเฉพาะรีเลย์แรงดันต่ำเกิน(Undervoltage relay) เท่านั้น

ตำแหน่งการติดตั้งรีเลย์แรงดัน



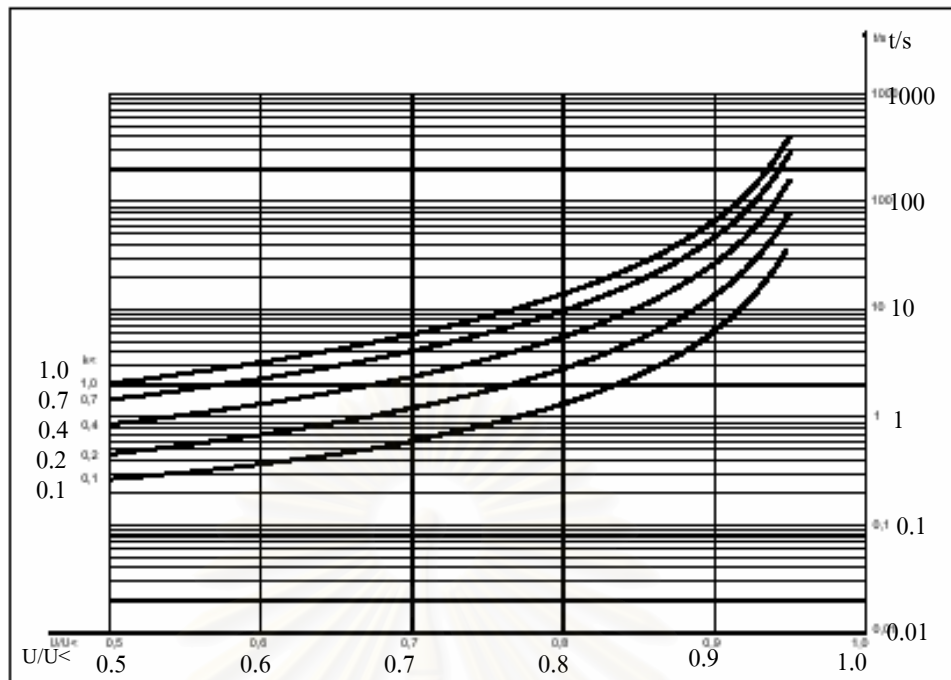
รูปที่ 5.6 ตำแหน่งการติดตั้งรีเลย์แรงดัน

5.2 การตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน(Undervoltage relay) ของโรงงานอุตสาหกรรม

ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปจะมีอุปกรณ์ป้องกันติดตั้งอยู่ เช่น เซอร์คิตเบรกเกอร์ , ฟิวส์,รีเลย์ชนิดต่าง ๆ เพื่อป้องกันเหตุขัดข้องต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระบบที่จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การเสียหายของเครื่องจักรอุปกรณ์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นศึกษา รีเลย์แรงดันต่ำเกินซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับป้องกันแรงดันตกโดยจะทำงานเมื่อแรงดันที่ได้รับเข้ามามีค่าต่ำกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้หรือเกิดแรงดันตกนานกว่าระยะเวลาที่กำหนดไว้ โดยการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินนี้จะส่งผลต่อความถี่ในการเกิดไฟฟ้าดับในโรงงานอุตสาหกรรม นั่นคือถ้าโรงงานอุตสาหกรรมทำการปรับตั้งค่าขนาดแรงดันที่ทำให้รีเลย์เริ่มทำงานมีขนาดต่ำหรือระยะเวลาที่ยอมให้เกิดแรงดันตกมีค่ามาก จะทำให้ความถี่ในการเกิดไฟฟ้าดับเนื่องจากแรงดันตกมีค่าน้อยลดลง แต่ถ้าโรงงานทำการปรับตั้งค่าขนาดแรงดันที่ทำให้รีเลย์เริ่มทำงานมีขนาดสูงหรือระยะเวลาที่ยอมให้เกิดแรงดันตกมีค่าน้อยก็จะทำให้ความถี่ในการเกิดไฟฟ้าดับเนื่องจากแรงดันตกมีค่ามาก โดยในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้รีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ABB มาใช้เป็นตัวอ้างอิงในการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน โดยจะทำการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ที่สถานะต่าง ๆ แล้วพิจารณาค่าดัชนีความเชื่อถือได้เป็นกรณีไป โดยที่กราฟลักษณะการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C มีรูปร่างและลักษณะดังนี้



รูปที่ 5.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C



รูปที่ 5.8 กราฟลักษณะการทำงานของรีเลย์แรงดันตก SP AU 121C

ในการศึกษาถึงผลของการตั้งค่ารีเลย์แรงดันต่ำเกิน เราจะทำการปรับตั้งค่า แรงดัน Pick up ที่ค่าต่างๆ และ ค่า Time multiplier ที่ค่า 0.1, 0.2, 0.4, 0.7 และ 1.0 ตามลำดับ โดยฟังกัั้นเวลาในการทำงาน ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินเป็นดังนี้

$$t = \frac{480 * k}{32 * \left(\frac{U - V}{U} - 0.5\right)^2} + 0.055$$

โดยที่ t คือ เวลาที่รีเลย์ใช้ในการทำงาน (วินาที)

k คือ ค่า Time multiplier

U คือ ค่า แรงดัน Pick up

V คือ ค่า แรงดันที่วัดได้ ณ จุดโหลด

จากนั้นจะทำการพิจารณาและสรุปผลที่ได้จากการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของดัชนี SAIFI และ SAIDI ในกรณีต่างๆ โดยผลการศึกษาจะแสดงอยู่ในบทที่ 6 ต่อไป

บทที่ 6

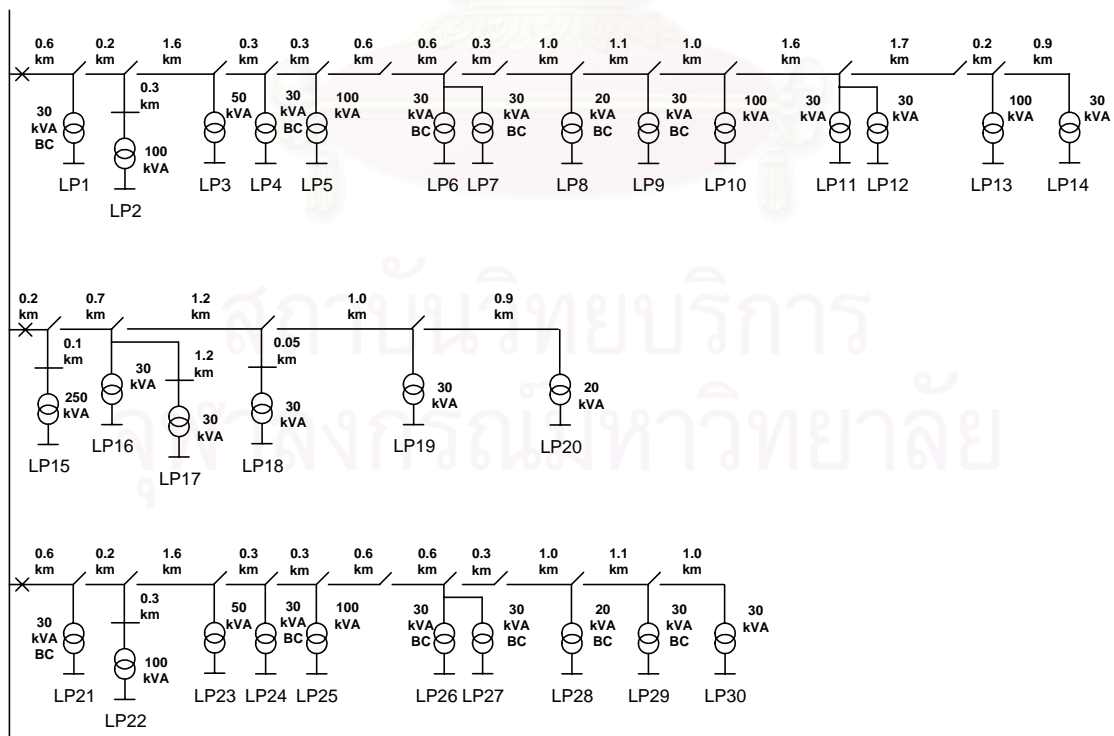
การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบโปรแกรมด้วยระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ.)และระบบทดสอบ(Roy Billinton Test System : RBTS) ซึ่งเป็นระบบทดสอบบัส 2 (RBTS BUS2) [19,20] เพื่อนำมาใช้ทดสอบผลกระทบจากแรงดันตกที่ทำให้เกิดไฟฟ้าดับโดยพิจารณาที่ค่าดัชนี ฌ จุดโหลด และค่าดัชนีที่อ้างอิงถึงผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีต่อระยะเวลา และขนาดของแรงดันตกจากนั้นจึงจะทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์

6.1 ระบบทดสอบ

6.1.1 ระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

รายละเอียดของระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแสดงไว้ดังรูปที่ 6.1 สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับสถิติการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดซึ่งสมมติขึ้นนั้นได้นำแสดงไว้ในตารางที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าภูมิภาคมีรายละเอียดของระบบ ดังที่จะแสดงต่อไปนี้

ตาราง 6.1 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

| ชนิดของอุปกรณ์ | λ (ครั้งต่อปี) | r (ชั่วโมง) | Repl(ชั่วโมง) | s (ชั่วโมง) |
|----------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| หม้อแปลง | 0.015 | 200 | 10 | 1 |
| สายเปลือย | 0.065/km | 5 | - | 1 |
| สายเคเบิล | 0.04/km | 30 | - | 3 |
| เบรกเกอร์ | 0.006 | 4 | - | 1 |
| บัสบาร์ | 0.001 | 2 | - | 1 |

โดยที่ Repl คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนอุปกรณ์ (Replacement time)

λ คือ อัตราการล้มเหลว (Failure rate)

r คือ ระยะเวลาในการซ่อมแซม (Repair time)

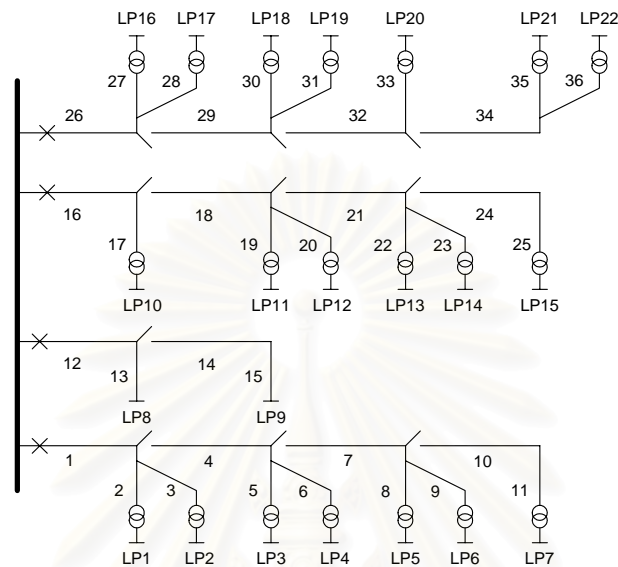
s คือ ระยะเวลาในการสวิตชิง (Swithing time)

ตาราง 6.2 ประเภท จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

| ตำแหน่งโหลด | ประเภทผู้ใช้ไฟ | จำนวนผู้ใช้ไฟ |
|-------------|--------------------|---------------|
| 1-3,10,11 | บ้านที่อยู่อาศัย | 210 |
| 12,17-19 | บ้านที่อยู่อาศัย | 200 |
| 8 | อุตสาหกรรมขนาดกลาง | 1 |
| 9 | อุตสาหกรรมขนาดกลาง | 1 |
| 4,5,13,14 | หน่วยงานราชการ | 1 |
| 20,21 | หน่วยงานราชการ | 1 |
| 6,7,15 | ธุรกิจบริการ | 10 |
| 16,22 | ธุรกิจบริการ | 10 |
| 23-30 | ธุรกิจบริการ | 100 |
| | รวม | 2708 |

6.1.2 ระบบทดสอบ RBTS BUS2 [6,19]

รายละเอียดของระบบทดสอบ RBTS BUS2 แสดงไว้ดังรูปที่ 6.2 สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับสถิติการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 6.3



รูปที่ 6.2 ระบบทดสอบ RBTS BUS2

ระบบทดสอบ RBTS BUS2 ซึ่งมีรายละเอียดของระบบ ดังที่จะแสดงต่อไปนี้

ตาราง 6.3 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบทดสอบบัส 2

| ชนิดของอุปกรณ์ | λ (ครั้งต่อปี) | r (ชั่วโมง) | Repl(ชั่วโมง) | s (ชั่วโมง) |
|----------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| หม้อแปลง | 0.015 | 200 | 10 | 1 |
| สายเปลือย | 0.065/km | 5 | - | 1 |
| สายเคเบิล | 0.04/km | 30 | - | 3 |
| เบรกเกอร์ | 0.006 | 4 | - | 1 |
| บัสบาร์ | 0.001 | 2 | - | 1 |

โดยที่ Repl คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนอุปกรณ์ (Replacement time)

λ คือ อัตราการล้มเหลว (Failure rate)

r คือ ระยะเวลาในการซ่อมแซม (Repair time)

s คือ ระยะเวลาในการสวิตชิง (Switching time)

ตาราง 6.4 ประเภท จำนวน และขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบบัส 2

| ตำแหน่งโหลด | ประเภทผู้ใช้ไฟ | โหลดเฉลี่ย(MW) | จำนวนผู้ใช้ไฟ |
|-------------|--------------------|----------------|---------------|
| 1-3,10,11 | บ้านที่อยู่อาศัย | 1 | 210 |
| 12,17-19 | บ้านที่อยู่อาศัย | 1 | 200 |
| 8 | อุตสาหกรรมขนาดกลาง | 1.2 | 1 |
| 9 | อุตสาหกรรมขนาดกลาง | 1.2 | 1 |
| 4,5,13,14 | หน่วยงานราชการ | 1 | 1 |
| 20,21 | หน่วยงานราชการ | 1 | 1 |
| 6,7,15 | ธุรกิจบริหาร | 1 | 10 |
| 16,22 | ธุรกิจบริหาร | 1 | 10 |
| | รวม | | 1908 |

ตารางที่ 6.5 ข้อมูลความยาวฟีดเคอร์ของระบบทดสอบบัส2

| กลุ่มที่ | ความยาว (กิโลเมตร) | เลขที่ฟีดเคอร์ |
|----------|----------------------|-------------------------------------|
| 1 | 0.6 | 2,6,10,14,17,21,25,28,30,34 |
| 2 | 0.75 | 1,4,7,9,12,16,19,22,24,27,29,32,35 |
| 3 | 0.8 | 3,5,8,11,13,15,18,20,23,26,31,33,36 |

6.2 ผลการทดสอบกับระบบ RBTS Bus2

จากข้อมูลประเภทจำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละจุดโหลดแสดงในตารางที่ 6.4 และข้อมูลความยาวฟีดเคอร์ของระบบทดสอบบัส 2 แสดงไว้ในตารางที่ 6.5 สามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลที่พัฒนาขึ้น เพื่อเปรียบเทียบผลกับวิธีการวิเคราะห์ เราจึงได้นำผลของวิธีการวิเคราะห์จาก[6] ซึ่งคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยยังไม่คำนึงถึงผลของแรงดันตก ทั้งนี้เงื่อนไขในการคำนวณคือ เมื่อหม้อแปลงเกิดขัดข้องจะเลือกใช้วิธีซ่อมหม้อแปลง และผลของวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลที่ได้พัฒนาขึ้นซึ่งคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า ในการคำนวณกำหนดให้ค่า relative uncertainty ต่ำกว่า 0.0002 จึงหยุดคำนวณ โดยพิจารณาจากค่า SAIFI ซึ่งทำให้ค่า relative uncertainty สูงสุดในแต่ละรอบการคำนวณ ค่าที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ผลการคำนวณโดยวิธีการวิเคราะห์ [6] และวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

| วิธีการคำนวณ | วิธีวิเคราะห์ | | วิธีจำลองเหตุการณ์ | |
|--------------|-----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| ตำแหน่งโหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | |
| | λ | U | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2393 | 3.5723 | 0.2439 | 3.4347 |
| 2 | 0.2523 | 3.6403 | 0.2565 | 3.6537 |
| 3 | 0.2523 | 3.6403 | 0.2568 | 3.5023 |
| 4 | 0.2393 | 3.5753 | 0.2427 | 3.6186 |
| 5 | 0.2523 | 3.6403 | 0.2551 | 3.6101 |
| 6 | 0.2490 | 3.6240 | 0.2484 | 3.4868 |
| 7 | 0.2523 | 3.6013 | 0.2546 | 3.5901 |
| 8 | 0.1398 | 0.5428 | 0.1413 | 0.5487 |
| 9 | 0.1398 | 0.5038 | 0.1407 | 0.4983 |
| 10 | 0.2425 | 3.5785 | 0.2431 | 3.6931 |
| 11 | 0.2523 | 3.6403 | 0.2502 | 3.6960 |
| 12 | 0.2555 | 3.6565 | 0.2527 | 3.5455 |
| 13 | 0.2523 | 3.5883 | 0.2533 | 3.7171 |
| 14 | 0.2555 | 3.6045 | 0.2544 | 3.8101 |
| 15 | 0.2425 | 3.5785 | 0.2440 | 3.5669 |
| 16 | 0.2523 | 3.6403 | 0.2561 | 3.3862 |
| 17 | 0.2425 | 3.5915 | 0.2501 | 3.7767 |
| 18 | 0.2425 | 3.5785 | 0.2464 | 3.5737 |
| 19 | 0.2555 | 3.6435 | 0.2608 | 3.6684 |
| 20 | 0.2555 | 3.6435 | 0.2596 | 3.8843 |
| 21 | 0.2523 | 3.5883 | 0.2544 | 3.6255 |
| 22 | 0.2555 | 3.6045 | 0.2591 | 3.5662 |
| SAIFI | 0.24821 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ-ปี | | 0.2511 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ-ปี | |
| SAIDI | 3.61529 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ-ปี | | 3.6100 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ-ปี | |

ตารางที่ 6.7 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า

| ดัชนี | ระบบทดสอบบัส 2 | | |
|-------|------------------|--------------------|----------------|
| | วิธีการวิเคราะห์ | วิธีจำลองเหตุการณ์ | ความแตกต่าง(%) |
| SAIFI | 0.24821 | 0.2511 | 1.16% |
| SAIDI | 3.61529 | 3.6100 | 0.15% |

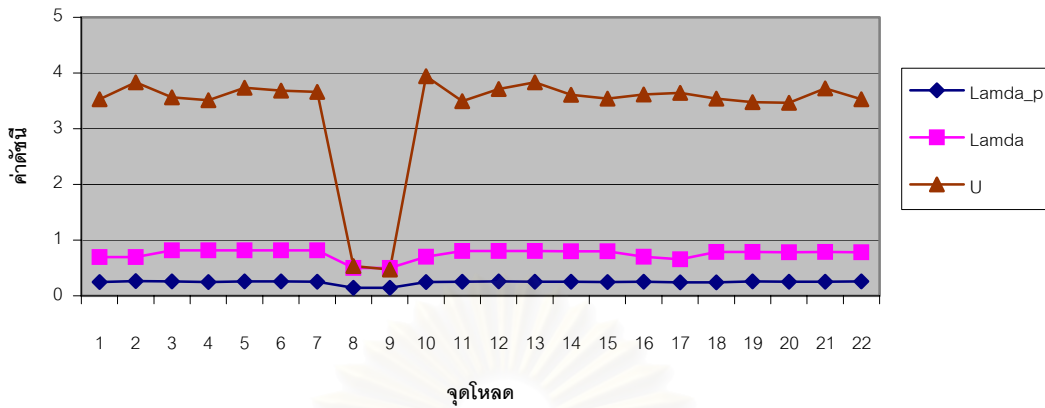
จากการคำนวณจะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบของทั้งสองวิธีมีค่าที่แตกต่างกันไม่มากคือไม่เกิน 2% และวิธีการจำลองเหตุการณ์ยังจะให้ค่าในการคำนวณแต่ละครั้งที่แตกต่างกันไป แต่เมื่อพิจารณาถึงค่า λ ที่แต่ละจุดโหลด และค่า U ที่แต่ละจุดโหลดพบว่าค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีจะแตกต่างกันเป็นเปอร์เซ็นต์ที่มากขึ้น คือ ไม่เกิน 3% สำหรับค่า λ และไม่เกิน 5% สำหรับค่า U

6.3 ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตก

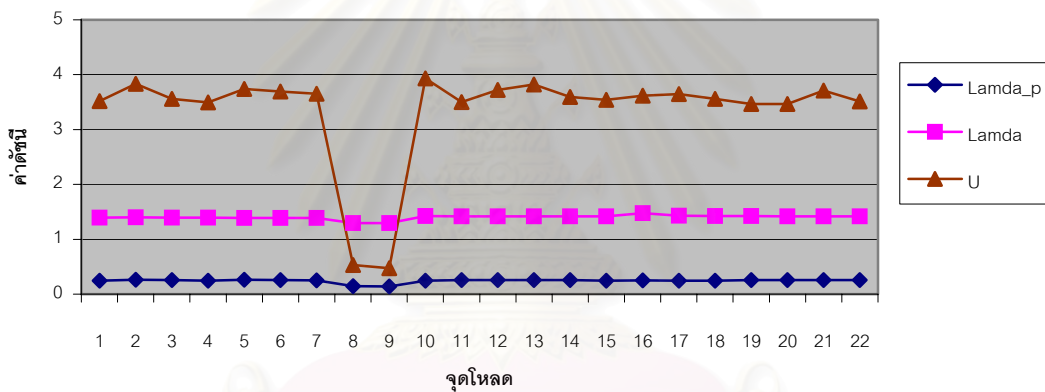
ในการทดสอบนี้เราต้องพิจารณาถึงระดับของแรงดันตกที่เกิดขึ้นซึ่ง ส่งผลต่อ อุปกรณ์ที่ใช้ ณ จุดโหลดต่างๆ โดยตั้งเงื่อนไขว่าเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาการลัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันของระบบยาวนานเพียงพอที่จะส่งผลให้เกิดการตัดวงจรอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จุด โหลดแต่ละตำแหน่งซึ่งหมายความว่าเราจะพิจารณาเฉพาะขนาดของแรงดันตกซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์ที่จุด โหลดจะเกิดการตัดวงจรเนื่องจากระดับแรงดันตกที่เกิดขึ้นที่จุด โหลดนั้นๆหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่ารีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ต่อ ณ จุด โหลดจะทำงานก่อนที่เซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานเสมอ

ผลการคำนวณโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นการพิจารณาจากระดับแรงดันตกที่ทนได้สูงสุดที่แต่ละจุดโหลด ที่ระดับ 0.5 0.6 0.7 0.8 และ 0.9 p.u. ตามลำดับ ในการจำลองเหตุการณ์เพื่อพิจารณาผลของแรงดันตก จะกำหนดไว้ว่า ถ้าค่า relative uncertainty ของ $SAIFI_p$ ต่ำกว่า 0.0001 จึงหยุดคำนวณ และจำนวนรอบในการจำลองเหตุการณ์สูงสุดคือ 60,000 รอบ สำหรับการวิเคราะห์ปัญหานี้เราจะพิจารณาการผิดพลาดของระบบอยู่ 2 ชนิด คือ การผิดพลาดแบบ 3 เฟสและการผิดพลาดแบบ 1 เฟส เนื่องจากการผิดพลาดแบบ 3 เฟสเป็นการผิดพลาดชนิดที่รุนแรงที่สุด และการผิดพลาดแบบ 1 เฟสเป็นการผิดพลาดชนิดที่พบมากที่สุด เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นโดยชัดเจน ค่า $SAIFI$ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ $SAIFI$ ของการล้มเหลวแบบถาวร($SAIFI_p$) และ $SAIFI$ ของการล้มเหลวที่เกิดเนื่องจากแรงดันตกซึ่งทำให้ระบบจ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไม่ได้เนื่องจากอุปกรณ์ที่จุดโหลดจะทำการทริปตัวเองเพื่อป้องกัน ซึ่งเป็นการล้มเหลวเพียงชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่จุดโหลด ทั้งนี้ผลการทดสอบแสดงไว้ด้านล่าง โดยค่า λ_p คือ ค่าความล้มเหลวที่จุดโหลดที่เกิดขึ้น

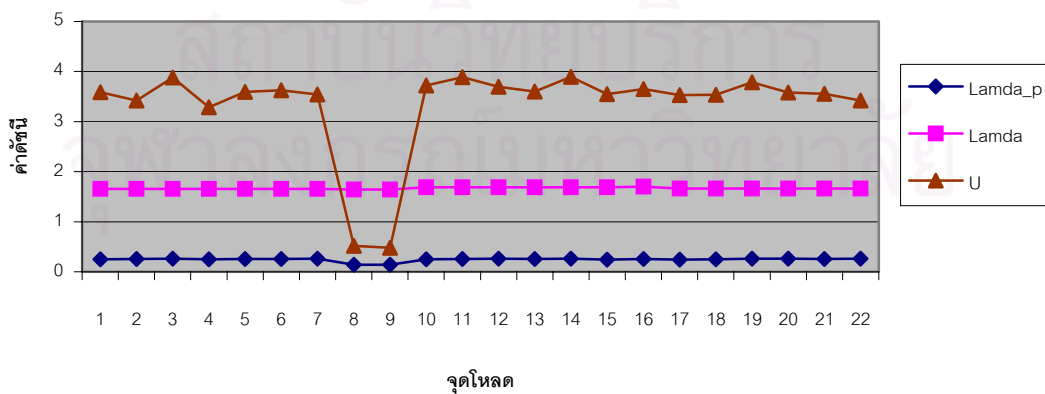
อย่างถาวร และค่า SAIFI_p คือ ค่า SAIFI ที่นำเฉพาะค่า λ_p มาคำนวณเท่านั้น



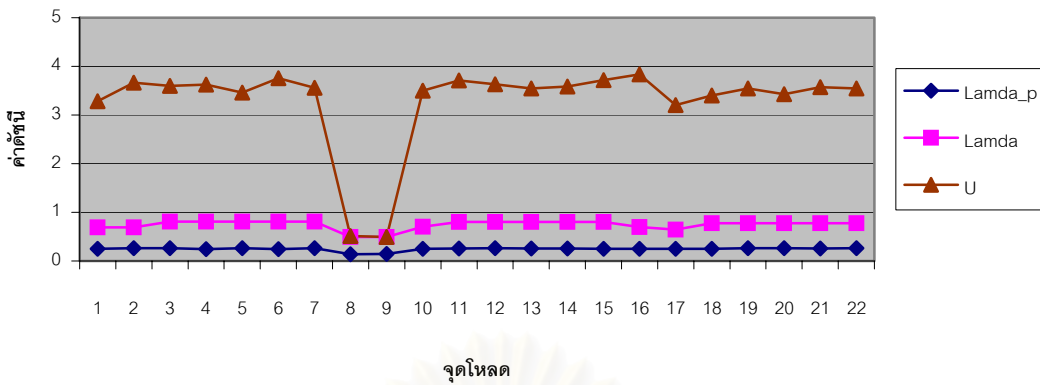
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส



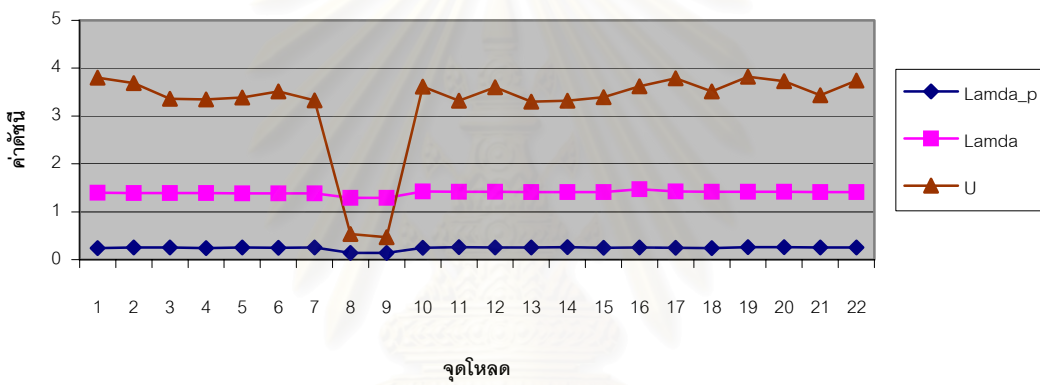
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส



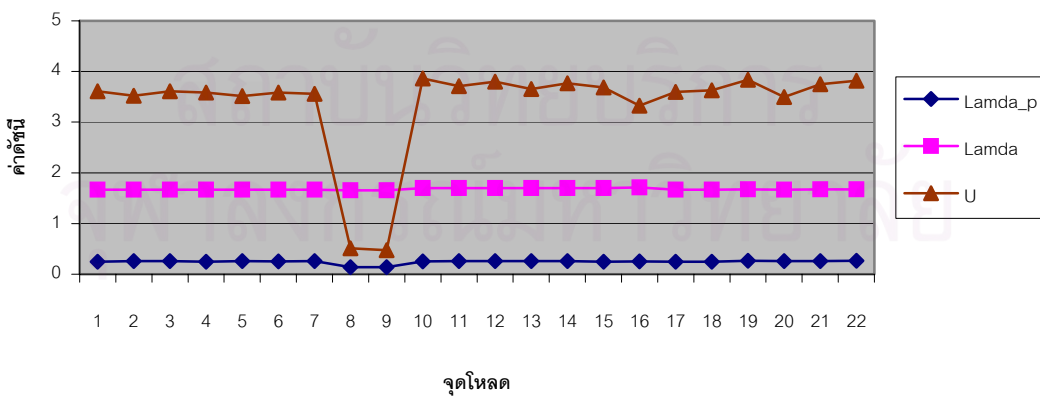
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.9 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.9 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส

ตาราง 6.8 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI ซึ่งจุดโหลดสามารถทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆสำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส

| กรณีที่ | ขนาดแรงดันตก (p.u.) | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|---------------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | ไม่คิดระดับแรงดันตก | 0.2511 | 0.2511 | 3.6100 |
| 2 | 0.5 | 0.2518 | 0.7501 | 3.6435 |
| 3 | 0.6 | 0.2519 | 1.0212 | 3.6435 |
| 4 | 0.7 | 0.2518 | 1.4137 | 3.6339 |
| 5 | 0.8 | 0.2518 | 1.6614 | 3.6356 |
| 6 | 0.9 | 0.2533 | 1.6690 | 3.6668 |

ตาราง 6.9 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI ซึ่งจุดโหลดสามารถทนต่อแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆสำหรับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส

| กรณีที่ | ขนาดแรงดันตก (p.u.) | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|---------------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | ไม่คิดระดับแรงดันตก | 0.2511 | 0.2511 | 3.61 |
| 2 | 0.5 | 0.2557 | 0.7458 | 3.5067 |
| 3 | 0.6 | 0.2525 | 1.0197 | 3.5396 |
| 4 | 0.7 | 0.2513 | 1.4111 | 3.6041 |
| 5 | 0.8 | 0.2537 | 1.6653 | 3.6535 |
| 6 | 0.9 | 0.2557 | 1.6796 | 3.6796 |

โดยผลการคำนวณที่ไม่ได้นำมาแสดงในที่นี้จะปรากฏอยู่ในภาคผนวก

สูตรในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐาน แสดงไว้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า SAIFI} = \frac{|SAIFI - SAIFI_{BASE CASE}|}{SAIFI_{BASE CASE}} * 100 \quad (6.1)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า SAIDI} = \frac{|SAIDI - SAIDI_{BASE CASE}|}{SAIDI_{BASE CASE}} * 100 \quad (6.2)$$

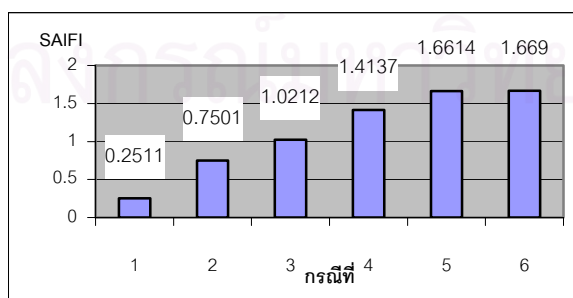
โดย Base case หมายถึง กรณีที่ไม่คิดแรงดันตก

ตารางที่ 6.10 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟในกรณีพื้นฐานกับกรณีที่ทนต่อระดับแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆสำหรับการผัดพรวงแบบ 3 เฟส

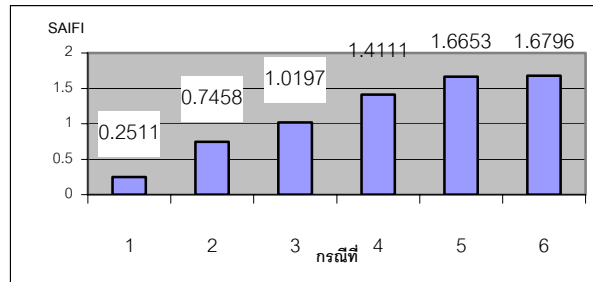
| กรณี | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า SAIFI | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า SAIFI _p | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า SAIDI |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|
| ระดับแรงดันตก 0.5 p.u. | 202.20% | 1.45% | 0.59% |
| ระดับแรงดันตก 0.6 p.u. | 311.43% | 1.49% | 0.86% |
| ระดับแรงดันตก 0.7 p.u. | 469.56% | 1.45% | 0.59% |
| ระดับแรงดันตก 0.8 p.u. | 569.35% | 1.45% | 0.64% |
| ระดับแรงดันตก 0.9 p.u. | 572.41% | 2.05% | 1.50% |

ตารางที่ 6.11 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟในกรณีพื้นฐานกับกรณีที่ทนต่อระดับแรงดันตกสูงสุดได้ที่ระดับต่างๆสำหรับการผัดพรวงแบบ 1 เฟส

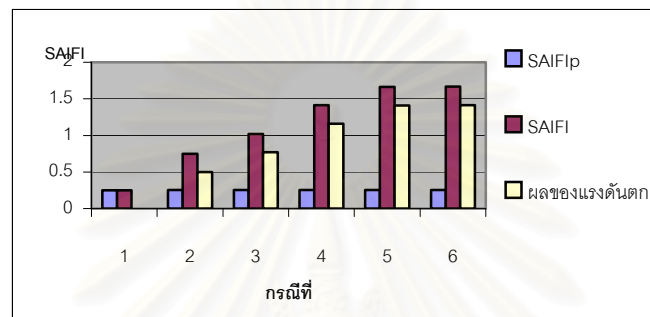
| กรณี | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า SAIFI | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า SAIFI _p | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า SAIDI |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|
| ระดับแรงดันตก 0.5 p.u. | 200.47% | 3.02% | 3.00% |
| ระดับแรงดันตก 0.6 p.u. | 310.82% | 1.73% | 2.09% |
| ระดับแรงดันตก 0.7 p.u. | 468.51% | 1.24% | 0.31% |
| ระดับแรงดันตก 0.8 p.u. | 570.92% | 2.21% | 1.06% |
| ระดับแรงดันตก 0.9 p.u. | 576.69% | 3.02% | 1.78% |



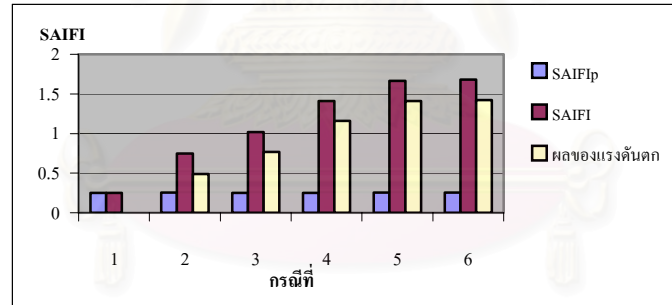
รูปที่ 6.9 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ระดับแรงดันตกต่าง ๆ ในกรณีการผัดพรวงแบบ 3 เฟส



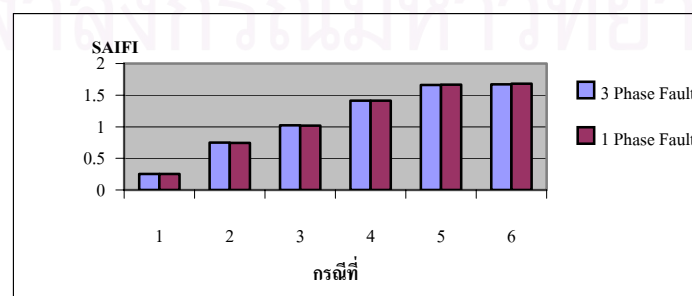
รูปที่ 6.10 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ระดับแรงดันตกต่าง ๆ ในกรณีการผิดพลาดแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.11 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, SAIFI และผลของแรงดันตกของระดับแรงดันตกที่ค่าต่าง ๆ กันในกรณีการผิดพลาดแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.12 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, SAIFI และผลของแรงดันตกของระดับแรงดันตกที่ค่าต่าง ๆ กันในกรณีการผิดพลาดแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.13 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ของระดับแรงดันตกที่ค่าต่าง ๆ กันในกรณีการผิดพลาดแบบ 3 เฟสเปรียบเทียบกับกรณีการผิดพลาดแบบ 1 เฟส

วิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตก

จากผลการคำนวณพบว่าเมื่อระดับแรงดันตกที่สามารถทนได้สูงสุดที่จุดโหลดมีค่ามากขึ้น (จุดโหลดนั้นมีความไวต่อแรงดันตกมากขึ้น) ทั้งในกรณีการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส และในกรณีการผิดพ่วงแบบ 1 เฟสจะพบว่าค่า λ ที่แต่ละจุดโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ค่า SAIFI มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามและเมื่อนำค่า SAIFI ที่คิดผลของแรงดันตกไปเปรียบเทียบกับกรณีพื้นฐาน (การคำนวณที่ไม่คิดถึงผลของแรงดันตก) จึงพบว่ามีค่าสูงขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามอย่างไรก็ดีเราจะพบว่า λ_p ของแต่ละจุดโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากซึ่งส่งผลทำให้ค่า SAIFI_p เปลี่ยนแปลงไปน้อยมากเช่นเดียวกัน ซึ่งที่จริงแล้วความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกิดเนื่องจากความไม่แม่นยำของวิธีการจำลองเหตุการณ์ซึ่งถ้าเป็นในกรณีของวิธีการวิเคราะห์จะไม่เกิดความไม่แม่นยำนี้ขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่า SAIDI จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละกรณีไม่มากเนื่องจากความไม่แม่นยำของวิธีการจำลองเหตุการณ์แต่มีค่าไม่เกิน 4% นั่นคือค่า λ_p , SAIFI_p และ SAIDI ในแต่ละกรณีแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่า λ ที่แต่ละจุดโหลดเกิดอันเนื่องจากผลของแรงดันตกที่จุดโหลดมีสาเหตุจากการเกิดลัดวงจรในระบบ เนื่องจากระบบที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นระบบแบบเรเดียลซึ่งขนาดของแรงดันตกจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างจุดที่เกิดการลัดวงจรกับจุดที่จ่ายไฟเข้ามา ถ้าจุดที่เกิดการลัดวงจรอยู่ห่างจากจุดจ่ายไฟมากจะทำให้แรงดันในระบบตกไม่มาก แต่ถ้าจุดที่เกิดการลัดวงจรอยู่ใกล้จุดจ่ายไฟก็จะส่งผลให้แรงดันในระบบตกลงไปมาก ดังนั้นเมื่อระดับแรงดันตกที่ทนได้สูงสุดที่จุดโหลดมีค่ามากขึ้น (ทนต่อแรงดันตกได้น้อย) จะทำให้โอกาสที่จะเกิดการลัดวงจรแล้วทำให้จุดโหลดเกิดข้อขัดข้องหรือเกิดไฟดับมีค่ามากขึ้น

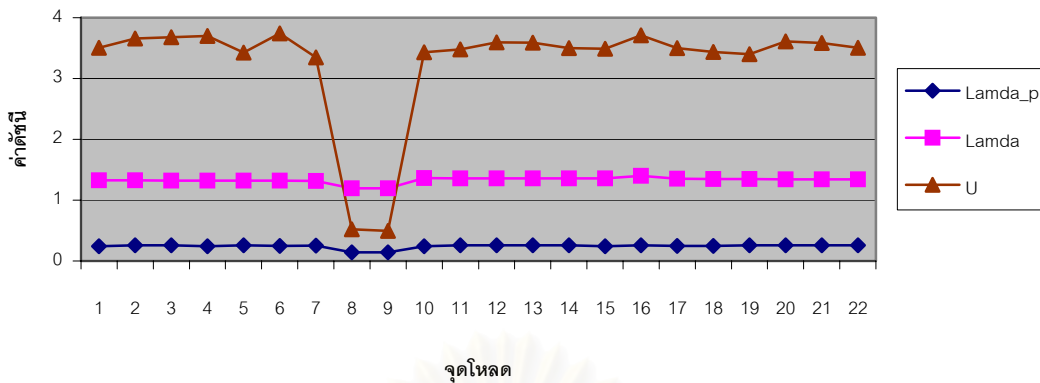
ผลต่างระหว่างค่า SAIFI กับค่า SAIFI_p คือค่า SAIFI ที่เกิดเนื่องจากผลของแรงดันตก เมื่อพิจารณาจะพบว่า SAIFI เนื่องจากแรงดันตกจะเป็นตัวส่งผลต่อค่า SAIFI รวมให้มีค่ามากขึ้น เนื่องจากผลของแรงดันตกทำให้อุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลดทำงานเพื่อป้องกันอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ที่จุดโหลด ซึ่งเมื่ออุปกรณ์ตัดตัวเองออกจากระบบอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ผู้ที่ทำการใช้อุปกรณ์นั้น เช่น เมื่อเกิดแรงดันตกในระบบทำให้มอเตอร์ในโรงงานเกิดการทริปขึ้นทำให้การผลิตในโรงงานเกิดการหยุดชะงักซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียแก่ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการ ดังนั้นค่า λ และ SAIFI เนื่องจากแรงดันตกอาจจะนำไปใช้ประโยชน์เพื่อประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นในระบบอันเนื่องจากแรงดันตกซึ่งส่งผลต่อจุดโหลดที่มีความไวต่อการเกิดแรงดันตก นอกจากนั้นอาจนำผลที่ได้จากการคำนวณไปใช้ปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อลดการตัดวงจรที่จุดโหลดอันเนื่องจากแรงดันตก

ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างการผิดพ่วงแบบ 3 เฟสกับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟส ค่า SAIFI เนื่องจากแรงดันตกมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยค่า SAIFI ของกรณีการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยในส่วนใหญ่ ยกเว้นกรณีที่ทนต่อแรงดันตกได้ 0.9 p.u. ค่า SAIFI ของ

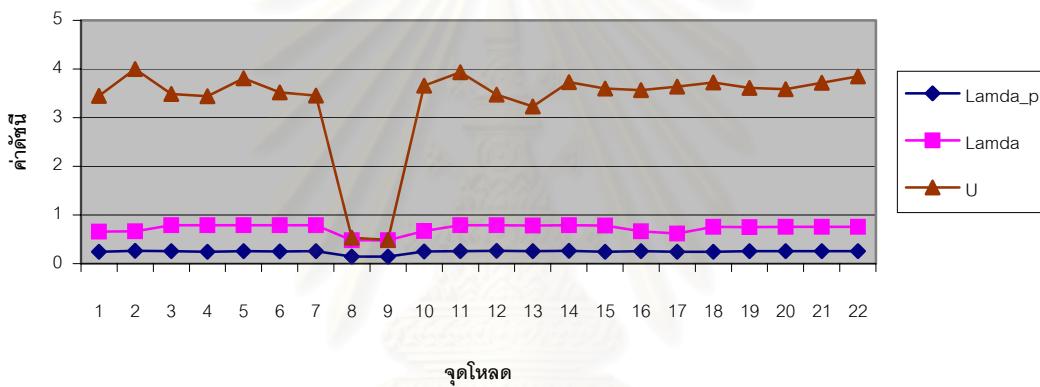
การผิดพ่วงแบบ 1 เฟสจะมีค่ามากกว่าแบบ 3 เฟส แต่ก็เพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกันนั่นคือ การผิดพ่วงแบบ 3 เฟส และการผิดพ่วงแบบ 1 เฟสมีผลต่อการเกิดไฟดับอันเนื่องจากไฟฟ้าตกใกล้เคียงกัน

6.4 ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานที่เวลาคงที่

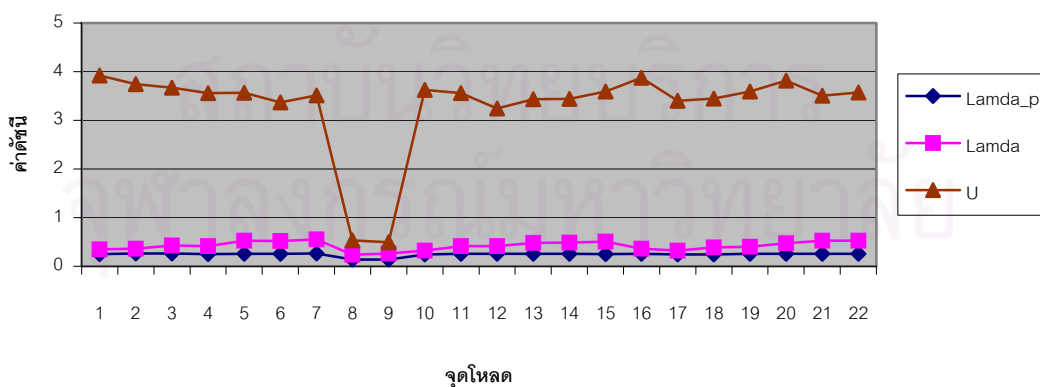
จากหัวข้อ 6.3 เราพิจารณาถึงระดับของแรงดันตกที่เกิดขึ้นซึ่ง ส่งผลต่อ อุปกรณ์ที่ใช้ ณ จุดโหลดต่างๆ โดยตั้งเงื่อนไขว่าเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาการลัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันของระบบยาวนานเพียงพอที่จะส่งผลให้เกิดการตัดวงจรอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จุด โหลดแต่ละตำแหน่งซึ่งหมายความว่าเราจะพิจารณาเฉพาะขนาดของแรงดันตกซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์ที่จุดโหลดจะเกิดการตัดวงจรเนื่องจากระดับแรงดันตกที่เกิดขึ้นที่จุด โหลดนั้นๆหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่ารีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ต่อ ณ จุด โหลดจะทำงานก่อนที่เซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานเสมอ แต่ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาถึงการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้อยู่โดยทั่วไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะให้ทำงานที่เวลา 1,2 และ 3 วินาที สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟสและตั้งเวลารการทำงานไว้ที่ 1 วินาทีสำหรับการผิดพ่วงแบบ 1 เฟสรวมไปถึงปรับตั้งการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่มีลักษณะการทำงานเป็นไปดังรูปที่ 5.7 ในบทที่ 5 โดยจะทำการปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่า 0.1,0.2,0.4,0.7และ1.0 และปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ไว้ที่ 0.9 p.u.



รูปที่ 6.14 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพลาดแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.15 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.4 สำหรับการผิดพลาดแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.16 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 1.0 สำหรับการผิดพลาดแบบ 3 เฟส

ตาราง 6.12 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส

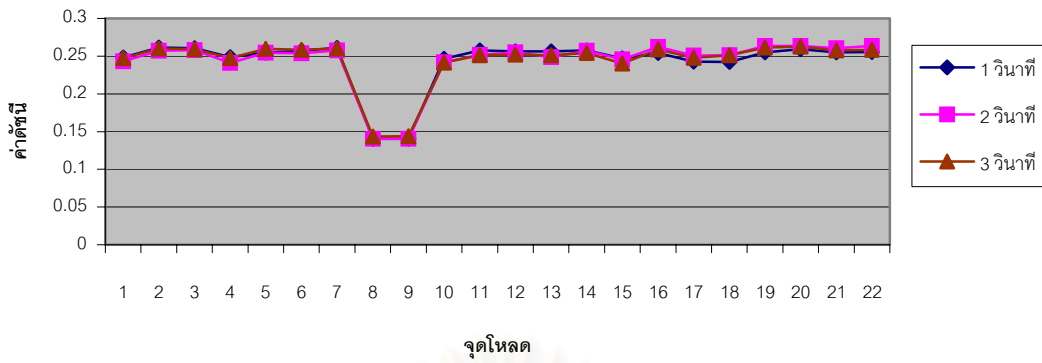
| กรณีที่ | ค่า Time multiplier | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|---------------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.1 | 0.2514 | 1.3440 | 3.5203 |
| 2 | 0.2 | 0.2543 | 1.0330 | 3.6348 |
| 3 | 0.4 | 0.2518 | 0.7208 | 3.6591 |
| 4 | 0.7 | 0.2518 | 0.4933 | 3.5539 |
| 5 | 1.0 | 0.2533 | 0.3814 | 3.5778 |

ตาราง 6.13 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 2 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส

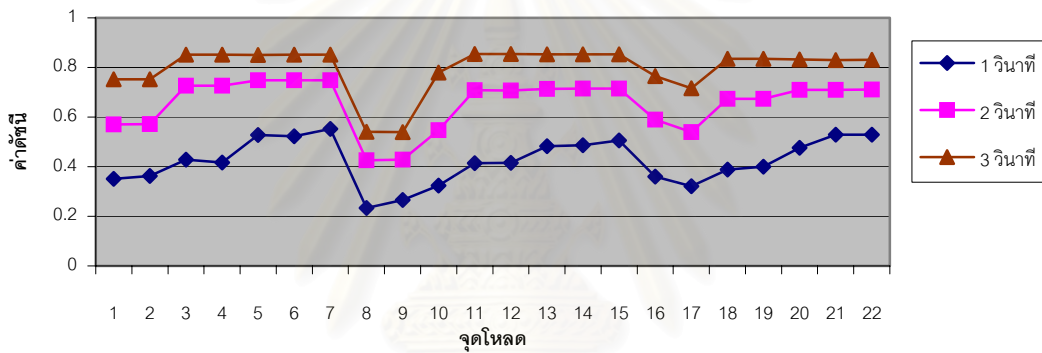
| กรณีที่ | ค่า Time multiplier | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|---------------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.1 | 0.2556 | 1.6171 | 3.6801 |
| 2 | 0.2 | 0.2539 | 1.3638 | 3.6715 |
| 3 | 0.4 | 0.2522 | 1.0423 | 3.5872 |
| 4 | 0.7 | 0.2533 | 0.7775 | 3.5659 |
| 5 | 1.0 | 0.2525 | 0.6370 | 3.6337 |

ตาราง 6.14 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆโดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 3 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส

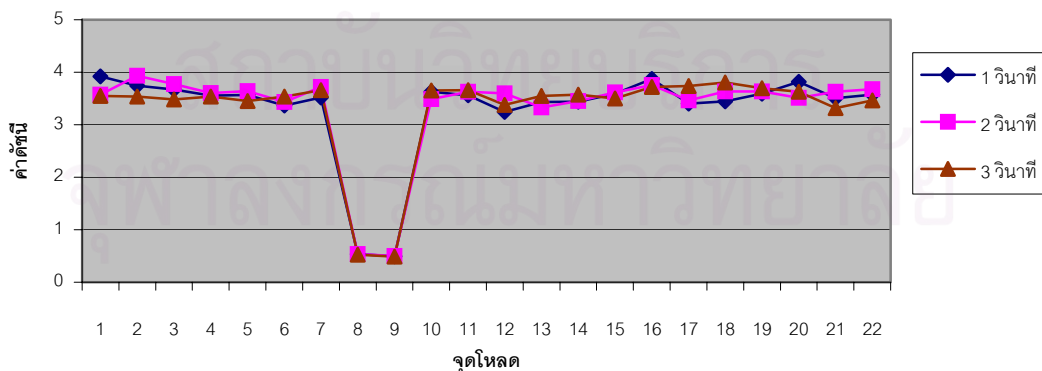
| กรณีที่ | ค่า Time multiplier | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|---------------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.1 | 0.2519 | 1.6483 | 3.6447 |
| 2 | 0.2 | 0.2532 | 1.5154 | 3.5662 |
| 3 | 0.4 | 0.2519 | 1.2230 | 3.6357 |
| 4 | 0.7 | 0.2535 | 0.9389 | 3.6903 |
| 5 | 1.0 | 0.2523 | 0.8037 | 3.6046 |



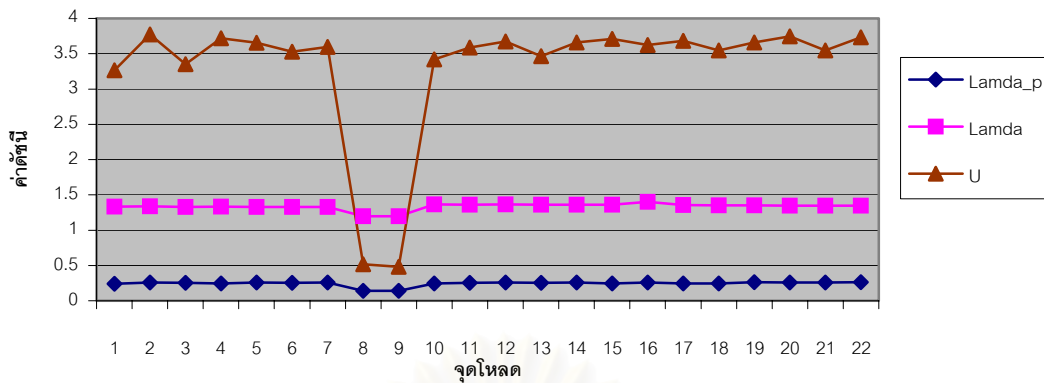
รูปที่ 6.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า λ_p กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1,2 และ 3 วินาที โดยรีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 1.0 สำหรับการฉีดพ่นแบบ 3 เฟส



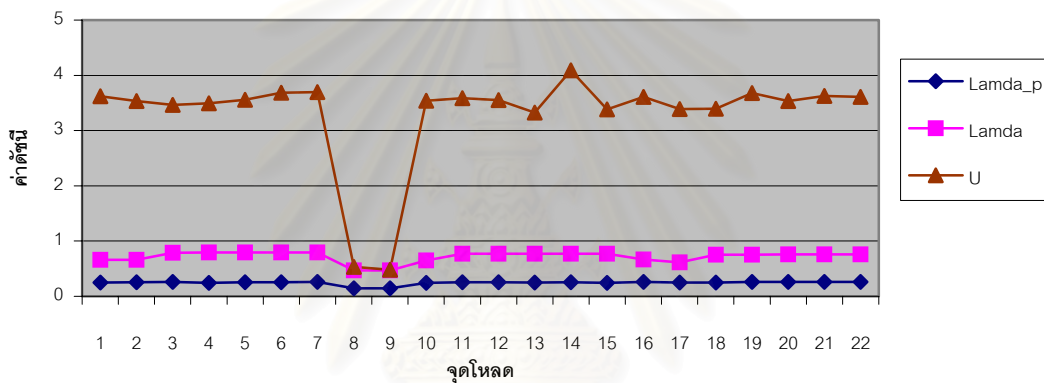
รูปที่ 6.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1,2 และ 3 วินาที โดยรีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 1.0 สำหรับการฉีดพ่นแบบ 3 เฟส



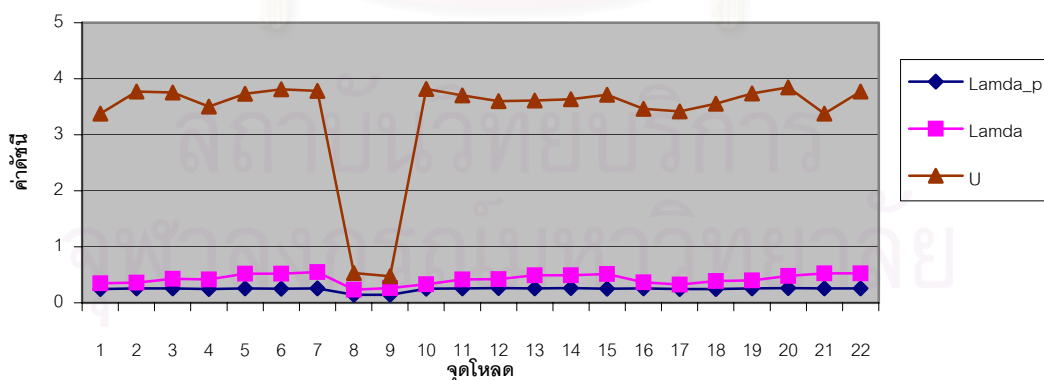
รูปที่ 6.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1,2 และ 3 วินาที โดยรีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 1.0 สำหรับการฉีดพ่นแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.20 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพลาดแบบ 1 เฟส



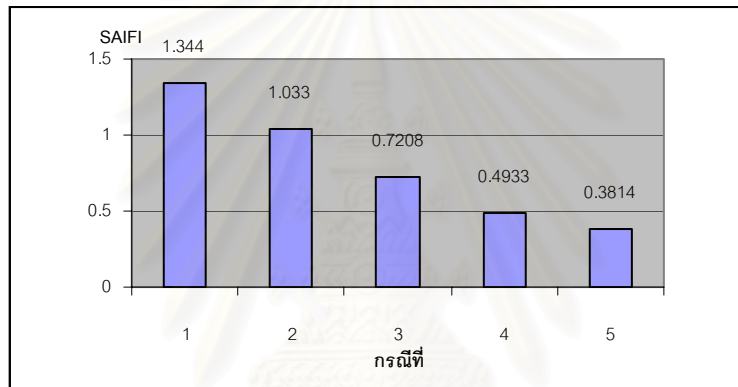
รูปที่ 6.21 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.4 สำหรับการผิดพลาดแบบ 1 เฟส



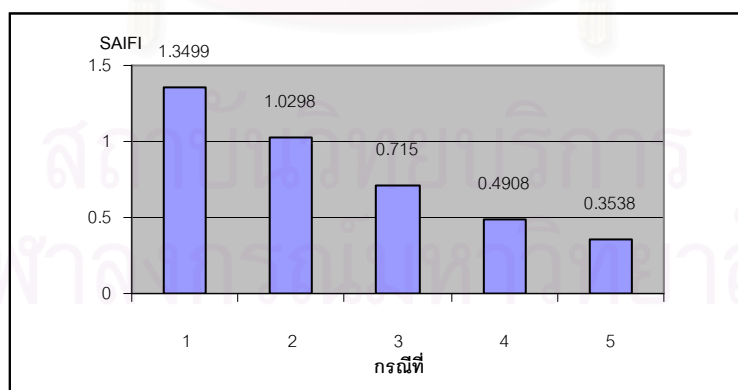
รูปที่ 6.22 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 1.0 สำหรับการผิดพลาดแบบ 1 เฟส

ตาราง 6.15 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆ โดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส

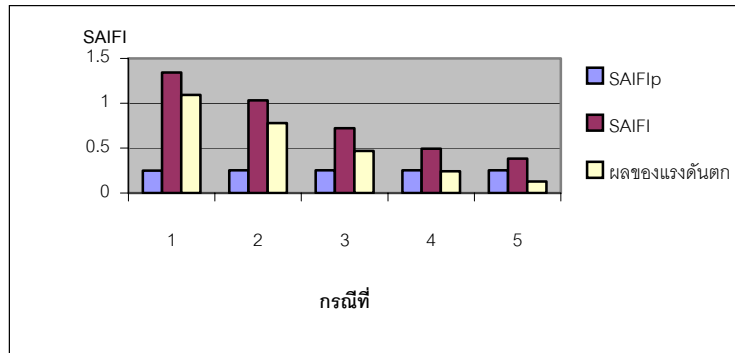
| กรณีที่ | ค่า Time multiplier | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|---------------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.1 | 0.2518 | 1.3499 | 3.5482 |
| 2 | 0.2 | 0.2540 | 1.0298 | 3.6099 |
| 3 | 0.4 | 0.2529 | 0.7150 | 3.5286 |
| 4 | 0.7 | 0.2555 | 0.4908 | 3.5906 |
| 5 | 1.0 | 0.2530 | 0.3835 | 3.6356 |



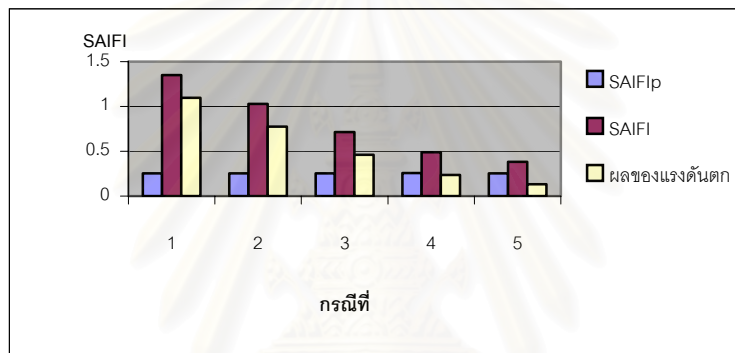
รูปที่ 6.23 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส



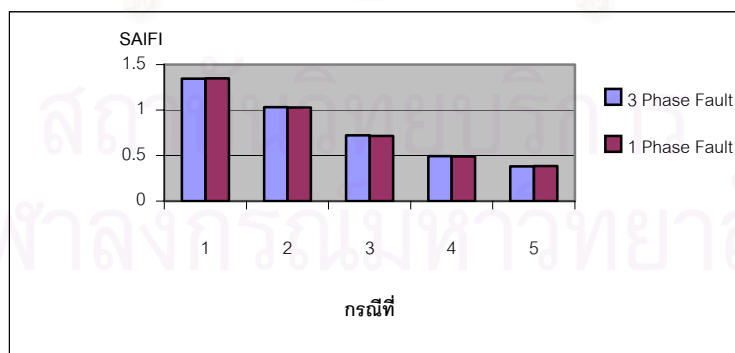
รูปที่ 6.24 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.25 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตก ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผิดพลาดแบบ 3 เฟส

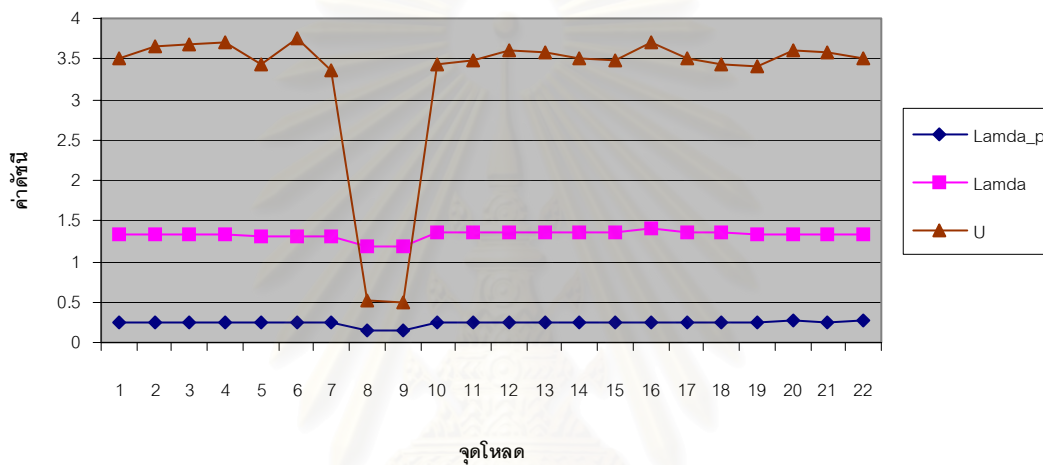


รูปที่ 6.26 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตก ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผิดพลาดแบบ 1 เฟส

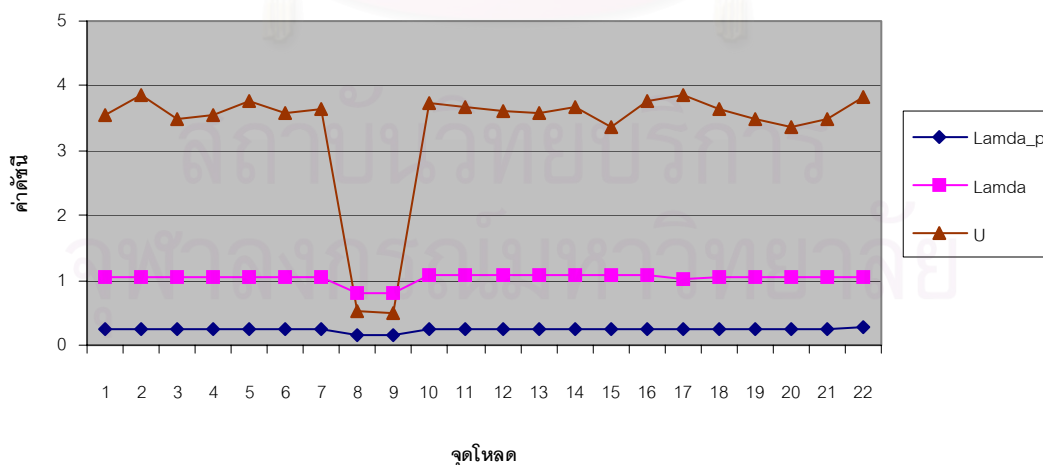


รูปที่ 6.27 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินค่าต่างๆ เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีของการผิดพลาดแบบ 3 เฟสเปรียบเทียบกับผิดพลาดแบบ 1 เฟส

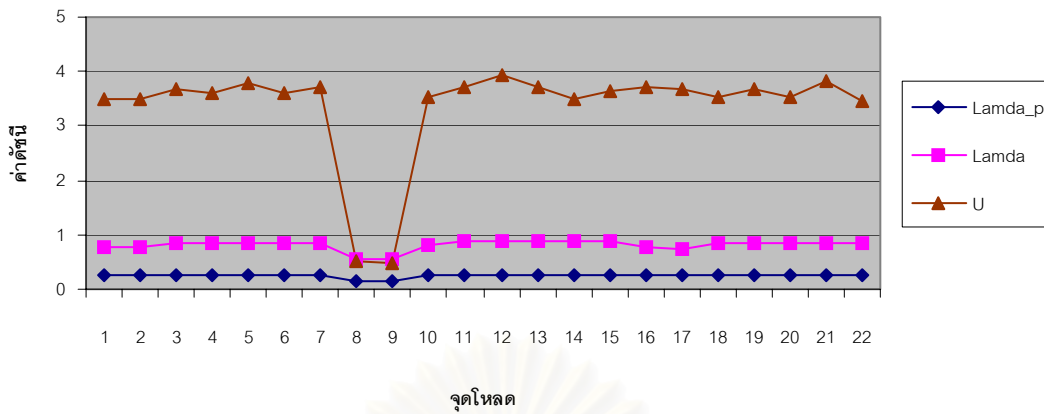
จากผลข้างต้นเราทำการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน โดยมีค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. ที่ค่า Time multiplier 0.1,0.2 ,0.4,0.7 และ 1.0 โดยค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1.2 และ 3 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส และที่ 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส เพื่อพิจารณาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ สิ่งที่จะทำการจำลองเหตุการณ์ถัดไปคือทำการปรับเปลี่ยนค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่า 0.90,0.85,0.80,0.75 และ 0.70 p.u. ตามลำดับโดยตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่า 0.1 สำหรับทุกกรณี ส่วนค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีผลที่ได้มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.28 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส



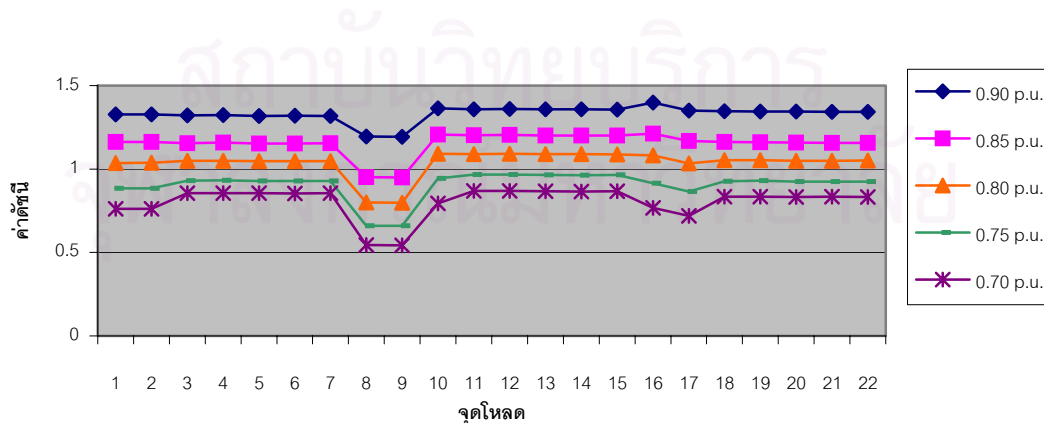
รูปที่ 6.29 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.80 p.u.และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส



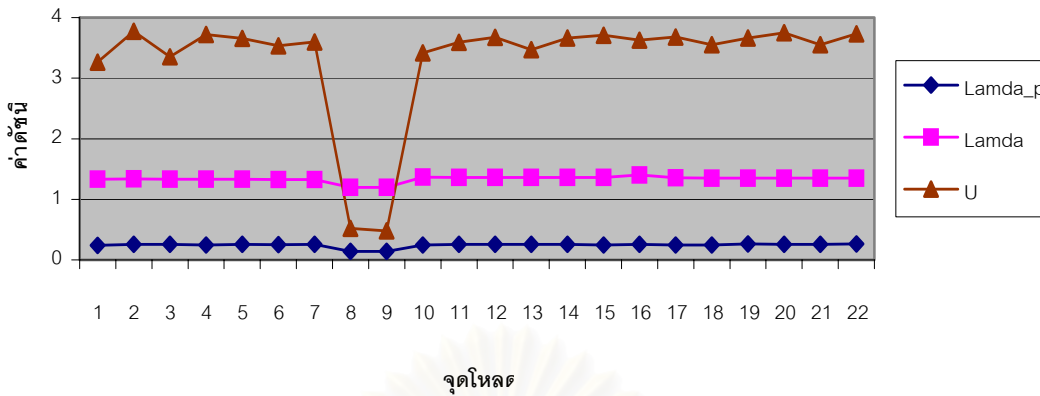
รูปที่ 6.30 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.70 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส

ตาราง 6.16 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆ โดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 1 วินาที สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส

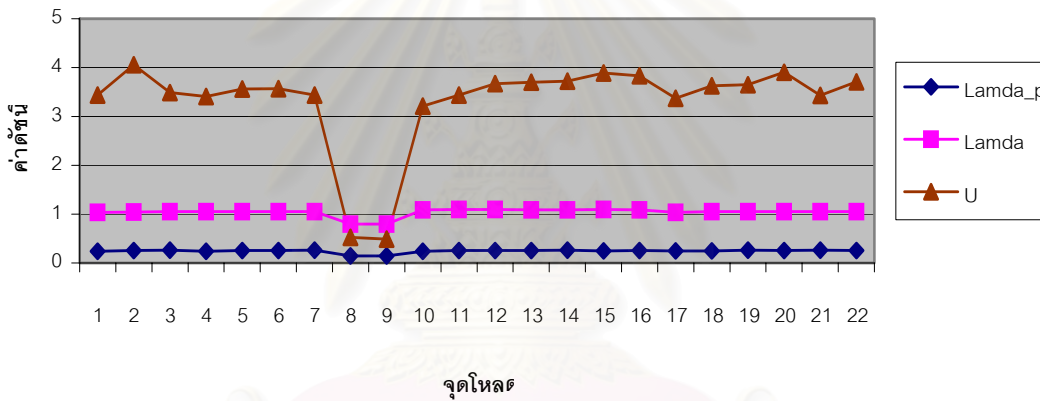
| กรณีที่ | แรงดัน Pick up (p.u.) | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|-----------------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.90 | 0.2514 | 1.3440 | 3.5203 |
| 2 | 0.85 | 0.2502 | 1.1759 | 3.6304 |
| 3 | 0.80 | 0.2538 | 1.0592 | 3.6538 |
| 4 | 0.75 | 0.2542 | 0.9222 | 3.5264 |
| 5 | 0.70 | 0.2518 | 0.8115 | 3.6324 |



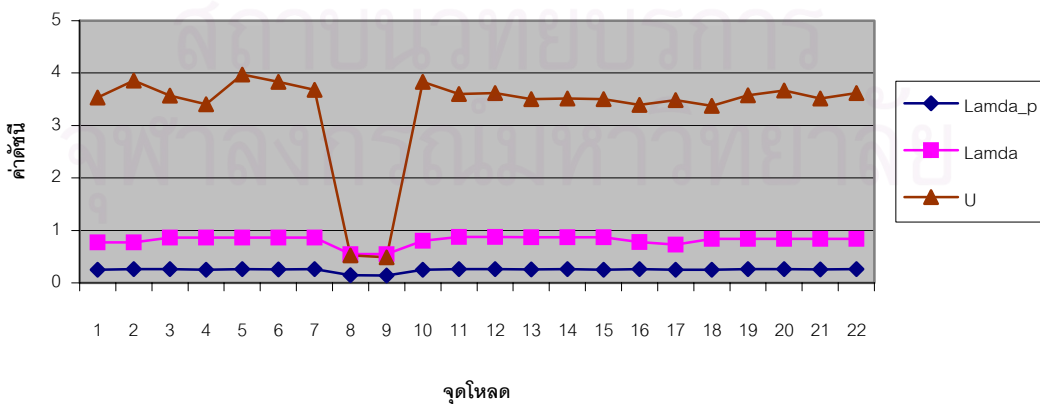
รูปที่ 6.31 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่างๆกัน สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.32 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพลาดแบบ 1 เฟส



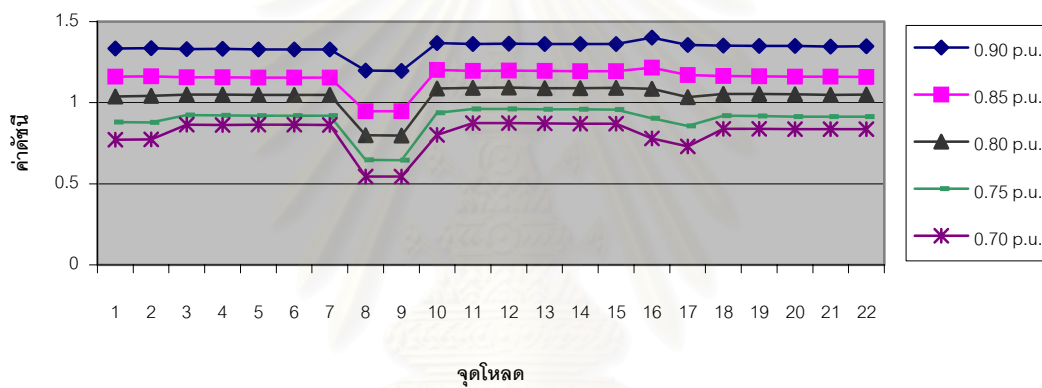
รูปที่ 6.33 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.80 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพลาดแบบ 1 เฟส



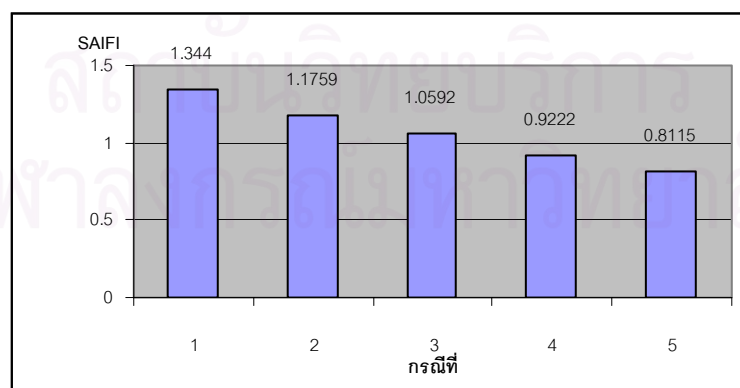
รูปที่ 6.34 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.70 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพลาดแบบ 1 เฟส

ตาราง 6.17 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่างๆ โดยเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส

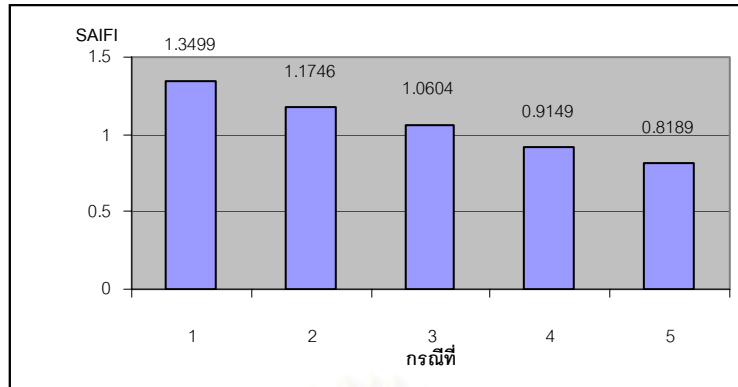
| แรงดัน Pick up (p.u.) | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|-----------------------|--------------------|--------|--------|
| 0.90 | 0.2518 | 1.3499 | 3.5482 |
| 0.85 | 0.2518 | 1.1746 | 3.6385 |
| 0.80 | 0.2529 | 1.0604 | 3.5507 |
| 0.75 | 0.2504 | 0.9149 | 3.6490 |
| 0.70 | 0.2555 | 0.8189 | 3.6047 |



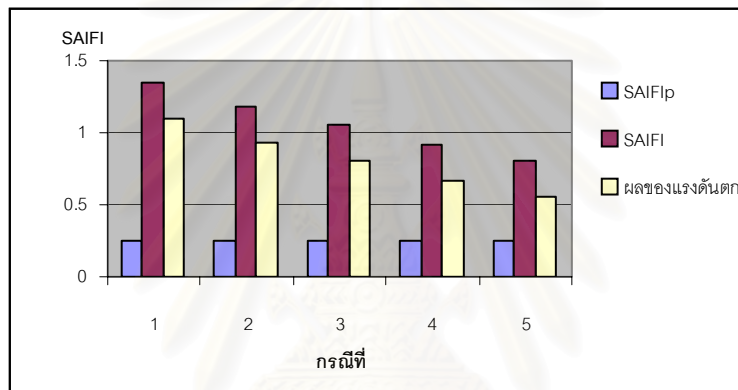
รูปที่ 6.35 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาที รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่างๆกัน สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส



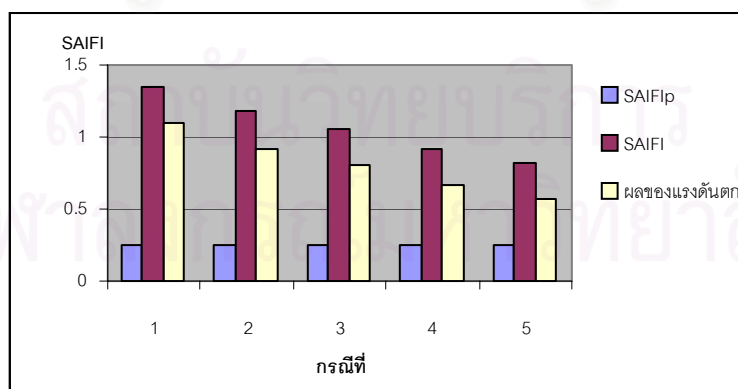
รูปที่ 6.36 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส



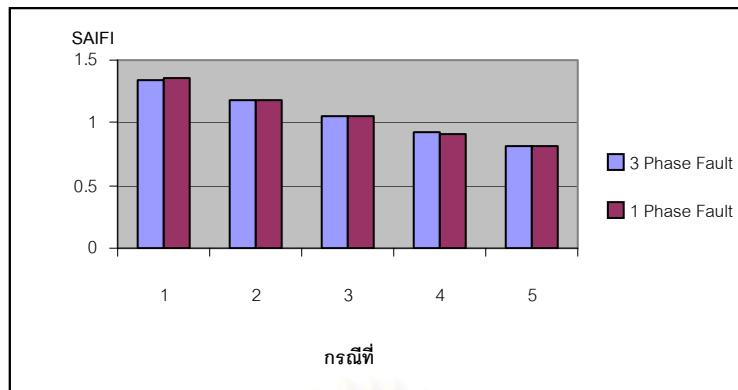
รูปที่ 6.37 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ ที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและ เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.38 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตกที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่าง ๆ กันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.39 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตกที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่าง ๆ กันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.40 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินค่าต่างๆ เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่เวลา 1 วินาทีของการผิดพลาดแบบ 3 เฟสเปรียบเทียบกับ การผิดพลาดแบบ 1 เฟส

วิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อแรงดันตกเมื่อจุดโหลดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานที่เวลาคงที่

จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะพบว่าเมื่อทำการปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินให้มีค่าคงที่ โดยในที่นี้ปรับตั้งไว้ที่ค่า 0.9 p.u. และทำการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินไปที่ค่า 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 โดยที่ระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์มีค่าคงที่ จะพบว่าทั้งในกรณีของการผิดพลาดแบบ 3 เฟส และการผิดพลาดแบบ 1 เฟส ค่า λ ที่แต่ละจุดโหลดจะมีค่าลดลงเมื่อทำการตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินให้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ค่า SAIFI มีค่าลดลงเมื่อค่า Time multiplier มีค่าเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจาก เมื่อค่า Time multiplier มีค่าเพิ่มขึ้นคือค่าระยะเวลาในการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยหรือพูดอีกแง่หนึ่งคือ รีเลย์แรงดันต่ำเกินจะทำงานช้าลงเมื่อค่า Time multiplier เพิ่มขึ้น และเมื่อค่าระยะเวลาในการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่าเพิ่มขึ้น จุดโหลดก็จะสามารถทนต่อการเกิดแรงดันตกได้นานมากขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการล้มเหลวของจุดโหลดมีค่าน้อยลง SAIFI ก็จะลดลงตามไปด้วย แต่ไม่ได้หมายความว่ารีเลย์แรงดันต่ำเกินจะทำงานช้ากว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์เสมอไป ระยะเวลาในการทำงานของรีเลย์ยังคงขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันตกเพียงแต่เมื่อปรับค่า Time multiplier ให้มีค่ามากขึ้นที่ขนาดแรงดันตกเท่ากันระยะเวลาในการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ตั้งค่า Time multiplier สูงกว่าจะทำงานช้ากว่ากรณีที่ตั้งค่า time multiplier ไว้ต่ำ และถ้าเราพิจารณาการผิดพลาดแบบ 3 เฟส และแบบ 1 เฟสจะพบว่า การผิดพลาดทั้ง 2 แบบให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ใกล้เคียงกัน

จากนั้นเมื่อเราทำการปรับเปลี่ยนค่าการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางฟีดเดอร์ไป โดยใช้ทำงานที่ระยะเวลา 1 2 และ 3 วินาทีตามลำดับจะพบว่าค่า λ ที่แต่ละจุดโหลดจะมีค่าเพิ่มขึ้น

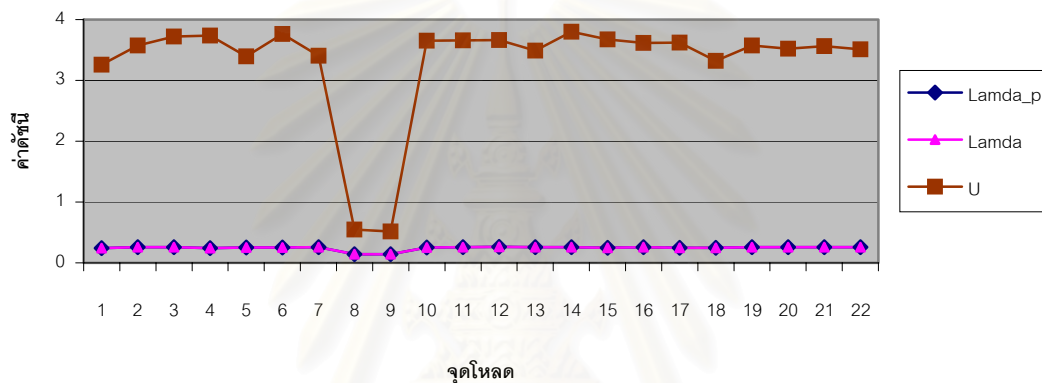
เมื่อเราเพิ่มระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากว่า ระบบที่นำมาทดสอบเป็นระบบที่มี 4 ฟีดเดอร์ เมื่อเกิดการผิดปกติขึ้นที่ฟีดเดอร์ใด ๆ ก็ย่อมส่งผลกระทบต่อฟีดเดอร์อื่นๆ ที่เหลือ ดังนั้นถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ที่เกิดการผิดปกติขึ้นนั้นทำงานอย่างรวดเร็วย่อมทำให้ผลกระทบต่อจุดโหลดที่อยู่ ณ ฟีดเดอร์น้อย หรือจุดโหลดที่อยู่ ณ ฟีดเดอร์อื่นก็จะเกิดแรงดันตกในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกนั้นยังไม่พอเพียงที่จะทำให้รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำการตัดจุดโหลดนั้นออกจากระบบจึงมีอัตราการล้มเหลวต่ำ แต่ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางฟีดเดอร์ทำงานช้า หรือใช้เวลาในการตัดวงจรนานย่อมส่งผลทำให้จุดโหลดที่อยู่ ณ ฟีดเดอร์อื่น ๆ ได้รับผลกระทบมาก หรือ จุดโหลดต้องทนต่อแรงดันตกเป็นระยะเวลานานนั่นเอง ดังนั้นโอกาสที่รีเลย์แรงดันต่ำเกินจะทำการตัดจุดโหลดออกจากระบบย่อมมีสูงกว่า จึงทำให้ค่า λ ที่แต่ละจุดโหลดมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางฟีดเดอร์มีค่ามากขึ้นทั้งในกรณีของการผิดปกติแบบ 3 เฟส และการผิดปกติแบบ 1 เฟสลงกราวด์

และเมื่อทำการปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ที่ค่าต่างๆ ได้แก่ 0.90, 0.85, 0.80, 0.75 และ 0.70 โดยที่ปรับตั้งให้ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า 0.1 และเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้มีค่าเวลาในการทำงานที่ 1 วินาที ทั้งในกรณีของการผิดปกติแบบ 3 เฟสและการผิดปกติแบบ 1 เฟส จะพบว่าที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. จะให้ค่าการล้มเหลวที่จุดโหลดมากที่สุด เนื่องจาก ค่า แรงดัน Pick up เป็นค่ากำหนดให้รีเลย์แรงดันต่ำเกินเริ่มทำงานนั่นคือ ยิ่งค่าแรงดัน Pick up มีค่าสูงเท่าไรรีเลย์ก็จะมีความไวต่อแรงดันตกมากขึ้นเท่านั้น หรือ จะเริ่มทำงานเมื่อแรงดันตกลงมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตามลักษณะการทำงานในรูปที่ 5.7 และเช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการผิดปกติแบบ 3 เฟส กับ การผิดปกติแบบ 1 เฟสลงกราวด์จะพบว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่คำนวณออกมาได้มีค่าใกล้เคียงกัน

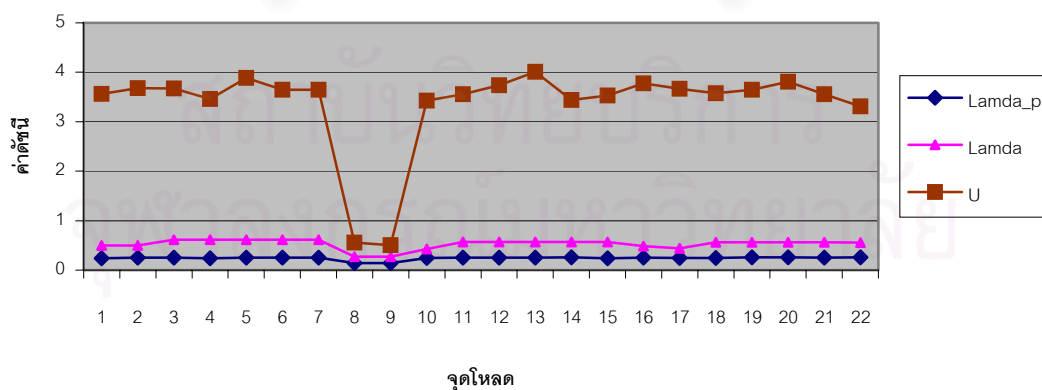
6.5 ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวิร์ส (Inverse Type)

จากหัวข้อ 6.4 เราพิจารณาถึงระดับของแรงดันตกที่เกิดขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่ใช้ ณ จุดโหลดต่างๆ โดยเราจะพิจารณาถึงการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้อยู่โดยทั่วไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะให้ทำงานที่คงที่คือ 1, 2 และ 3 วินาทีสำหรับการผิดปกติแบบ 3 เฟสและตั้งเวลาการทำงานไว้ที่ 1 วินาทีสำหรับการผิดปกติแบบ 1 เฟสลงกราวด์ รวมไปถึงปรับตั้งการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน โดยจะทำการปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่า 0.1, 0.2, 0.4, 0.7 และ 1.0 และปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ไว้ที่ 0.9, 0.85, 0.80, 0.75 และ 0.70 p.u.

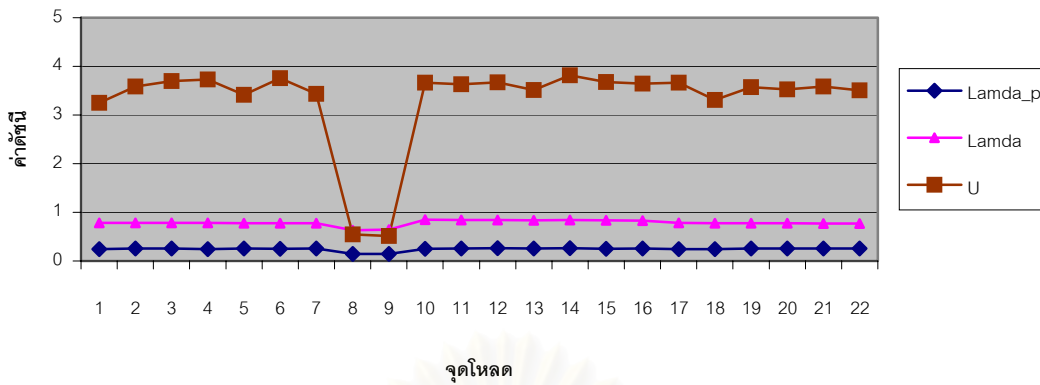
แต่ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาในกรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse Type) ซึ่งการระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสผิดพลาดถ้ากระแสผิดพลาดมีค่ามากเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานอย่างรวดเร็ว แต่ถ้ากระแสผิดพลาดมีค่าน้อยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานในเวลาที่มากขึ้น โดยสามารถตั้งค่า Time multiplier ได้เพื่อทำการหน่วงเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งค่าที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์นี้ได้แก่ 0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6 และ 0.7 สำหรับรีเลย์แรงดันต่ำเกินจะทำการปรับค่าการทำงานดังนี้ ค่าแรงดัน Pick up จะตั้งไว้ที่ 0.9 p.u. ส่วนค่า Time multiplier จะตั้งไว้ที่ค่า 0.1 ตลอดทั้งการจำลองเหตุการณ์ในหัวข้อ 6.5 นี้โดยผลการจำลองเหตุการณ์เป็นดังนี้



รูปที่ 6.41 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.1
รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1
สำหรับการผิดพลาดแบบ 3 เฟส



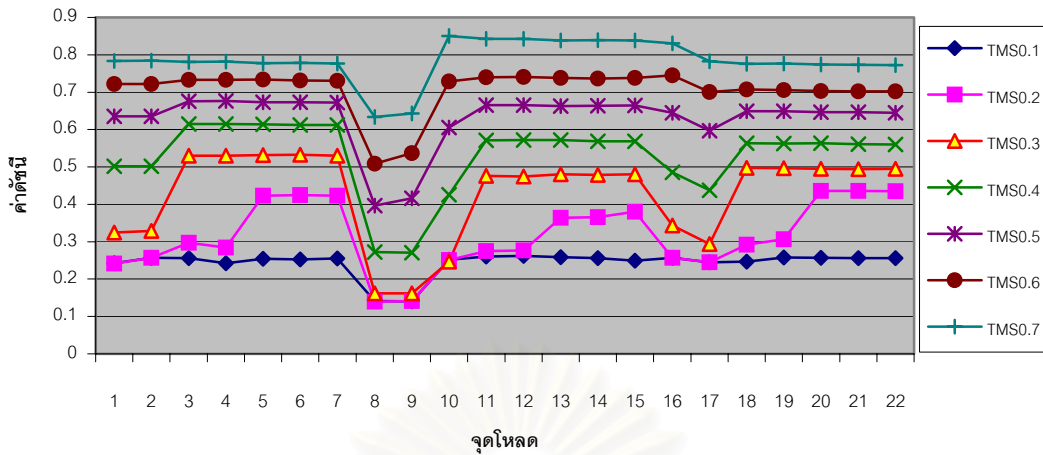
รูปที่ 6.42 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.4
รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1
สำหรับการผิดพลาดแบบ 3 เฟส



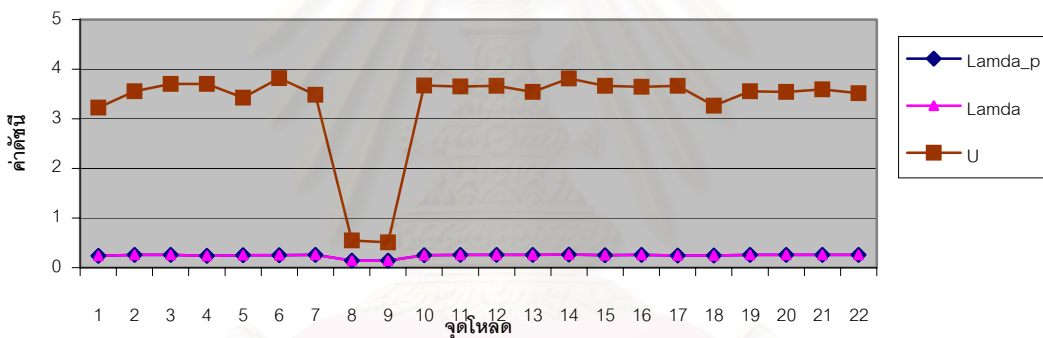
รูปที่ 6.43 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.7
รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1
สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส

ตาราง 6.18 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่
ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า
Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส

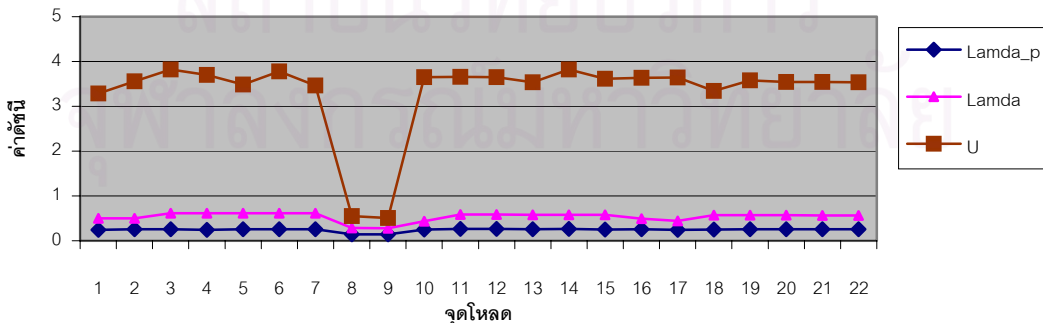
| กรณี | Time multiplier | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|------|-----------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.1 | 0.2529 | 0.2529 | 3.5579 |
| 2 | 0.2 | 0.2528 | 0.2742 | 3.5559 |
| 3 | 0.3 | 0.2510 | 0.4089 | 3.6375 |
| 4 | 0.4 | 0.2504 | 0.5287 | 3.6084 |
| 5 | 0.5 | 0.2554 | 0.6422 | 3.5721 |
| 6 | 0.6 | 0.2545 | 0.7223 | 3.7328 |
| 7 | 0.7 | 0.2525 | 0.8020 | 3.5594 |



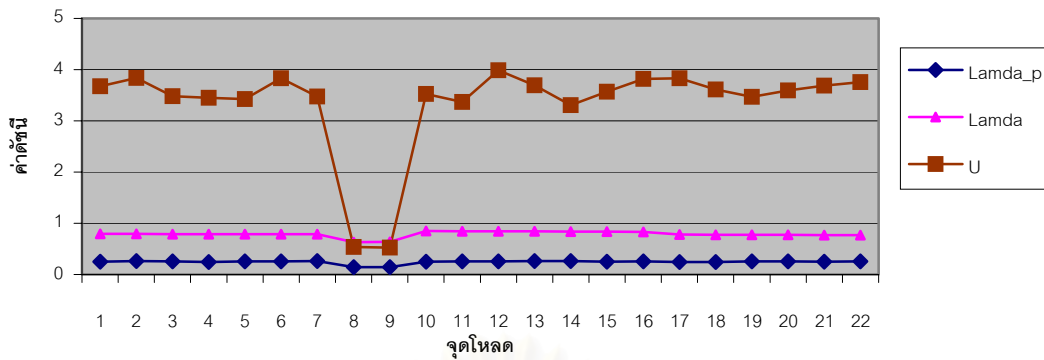
รูปที่ 6.44 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.45 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.1 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส



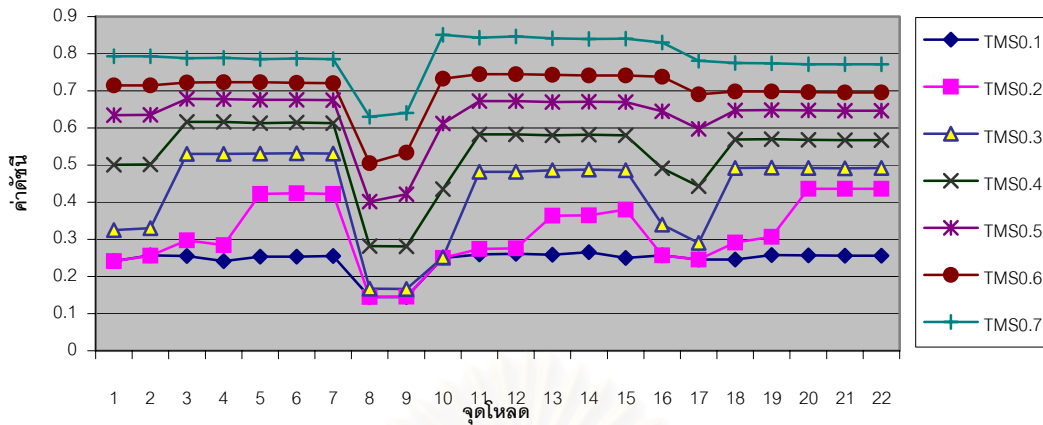
รูปที่ 6.46 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส



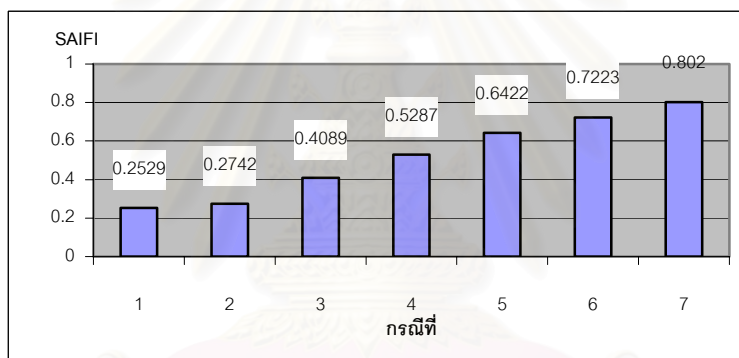
รูปที่ 6.47 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.7
รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1
สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส

ตาราง 6.19 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่
ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า
Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส

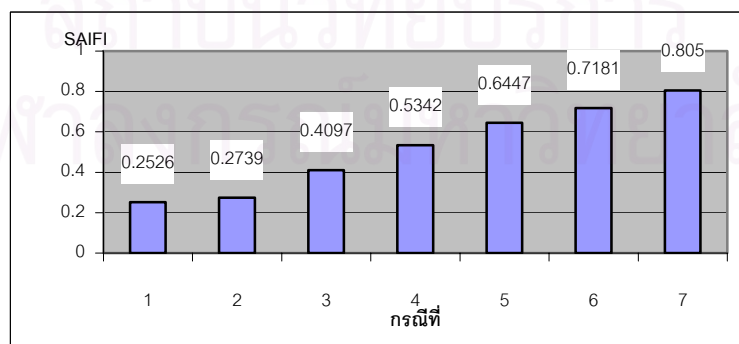
| กรณี | Time multiplier | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|------|-----------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.1 | 0.2526 | 0.2526 | 3.5510 |
| 2 | 0.2 | 0.2525 | 0.2739 | 3.5483 |
| 3 | 0.3 | 0.2527 | 0.4097 | 3.5553 |
| 4 | 0.4 | 0.2535 | 0.5342 | 3.5742 |
| 5 | 0.5 | 0.2535 | 0.6447 | 3.5789 |
| 6 | 0.6 | 0.2528 | 0.7181 | 3.5915 |
| 7 | 0.7 | 0.2520 | 0.8050 | 3.6384 |



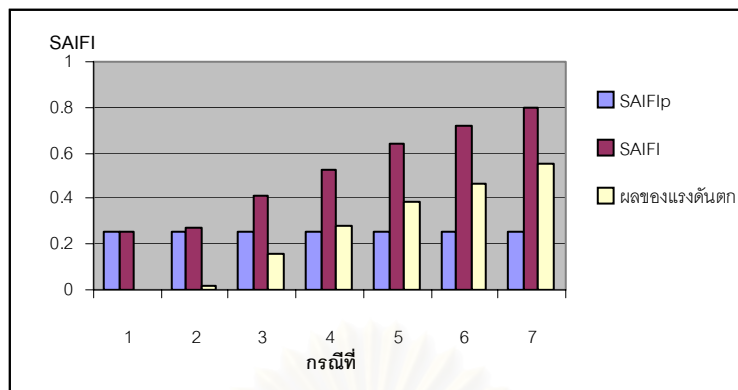
รูปที่ 6.48 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส



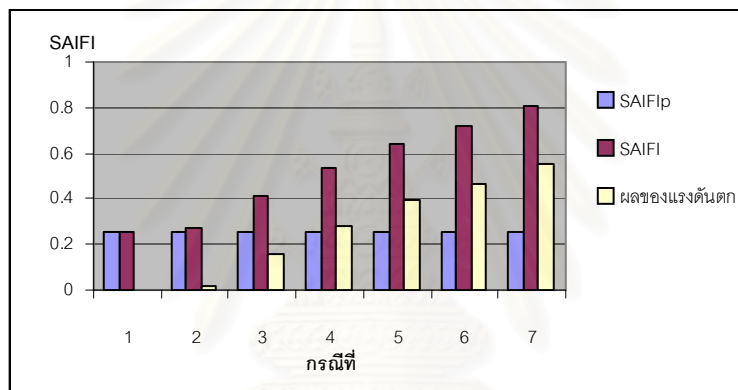
รูปที่ 6.49 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟส



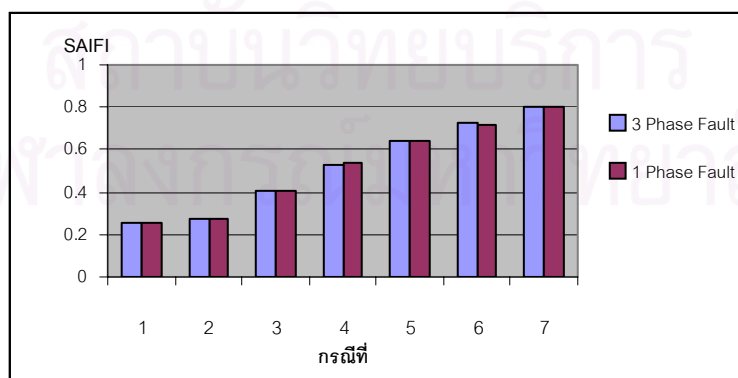
รูปที่ 6.50 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.51 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตกเมื่อปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพลาดแบบ 3 เฟส



รูปที่ 6.52 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และค่าผลของแรงดันตกเมื่อปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 สำหรับการผิดพลาดแบบ 1 เฟส



รูปที่ 6.53 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ เมื่อปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. และค่า Time multiplier 0.1 ของการผิดพลาดแบบ 3 เฟสเปรียบเทียบกับ การผิดพลาดแบบ 1 เฟส

วิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse Type)

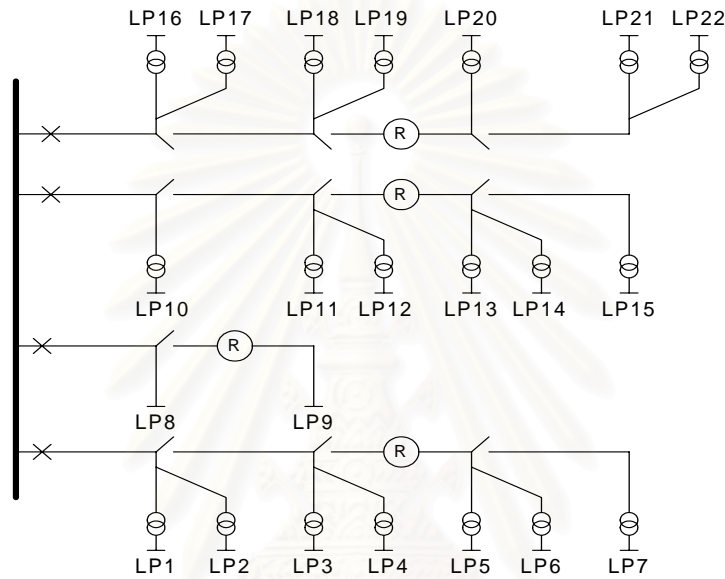
จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นพบว่า เมื่อทำการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินไว้คงที่ให้มามีค่าแรงดัน Pick up อยู่ที่ 0.9 p.u. ค่า Time multiplier อยู่ที่ 0.1 และทำการปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่ค่าตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 พบว่าทั้งในกรณีของการผัดพ่องแบบ 3 เฟสและการผัดพ่องแบบ 1 เฟสจะให้ผลที่สอดคล้องกันคือ เมื่อค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบก็จะมีค่าสูงขึ้นตาม เนื่องจากการที่ค่า Time multiplier มีค่าเพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในการตัดวงจรจะยาวนานขึ้นส่งผลทำให้จุดโหลดที่อยู่ ณ ฟีดเดอร์อื่นที่ไม่ใช่ฟีดเดอร์ที่เกิดการผัดพ่องต้องทนต่อการเกิดแรงดันตกเป็นระยะเวลานานขึ้น ดังนั้นโอกาสที่รีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ต่ออยู่ ณ จุดโหลดจะทำการตัดจุดโหลดนั้นออกจากระบบย่อมมีมากขึ้นตามไปด้วยส่งผลทำให้ค่าอัตราการล้มเหลวของจุดโหลดมีค่าสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ค่า SAIFI ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการผัดพ่องแบบ 3 เฟส และการผัดพ่องแบบ 1 เฟสจะพบว่าค่าดัชนีที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 6.53

6.6 ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse Type) โดยมีการติดตั้งรีโครสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันในระบบ

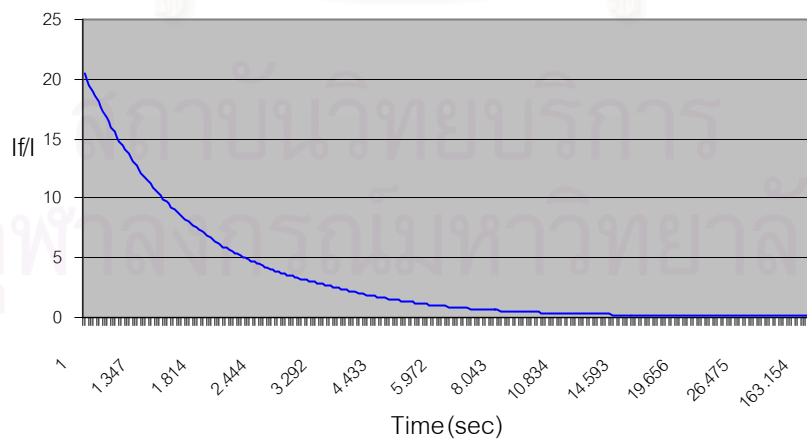
ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาเพิ่มเติมจากหัวข้อที่ 6.5 โดยทำการเพิ่มอุปกรณ์ป้องกันเข้าไปในระบบอีกชั้นหนึ่ง คือ รีโครสเซอร์ โดยจะทำการติดตั้งรีโครสเซอร์เข้าไปในระบบฟีดเดอร์ละ 1 ตัว ดังรูปที่ 6.54 โดยรีโครสเซอร์ที่นำมาใช้ในการจำลองเหตุการณ์นี้มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 6.55 ทั้งนี้ในหัวข้อนี้จะพิจารณาเฉพาะการผัดพ่องแบบ 3 เฟสเนื่องจากในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าผลจากการผัดพ่องทั้งแบบ 1 เฟสและแบบ 3 เฟสมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะทำการปรับตั้งการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบซึ่งได้แก่ รีเลย์แรงดันต่ำเกิน เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีโครสเซอร์ ไว้ให้การทำงานใน 3 หมวดดังนี้

- 1) ปรับตั้งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 และ รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier มีค่า 0.1 โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์ไว้ที่ค่า 0.90, 0.85, 0.80, 0.75 และ 0.70 p.u. ตามลำดับ

- 2) ปรับตั้งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 และ รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. โดยทำการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของรีเลย์ไว้ที่ค่า 0.1,0.2,0.4,0.7 และ 1.0 ตามลำดับ
- 3) ปรับตั้งให้รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าแรงดัน Pick up มีค่า 0.9 p.u.และ ค่า Time multiplier มีค่า 0.1 โดยทำการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่ค่า 0.3,0.4,0.5,0.6 และ 0.7 ตามลำดับ



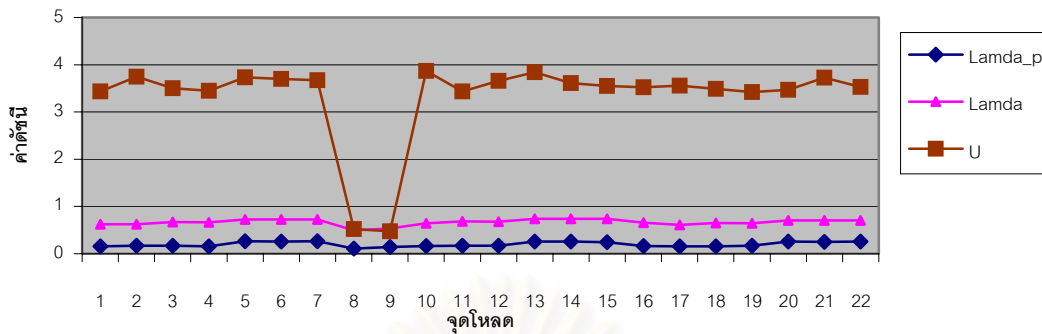
รูปที่ 6.54 ระบบทดสอบ RBTS BUS2 เมื่อทำการติดตั้งรีโครสเซอร์



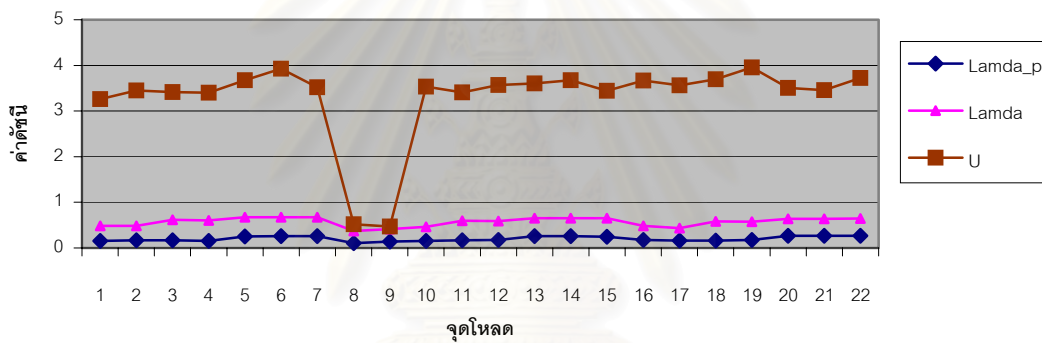
รูปที่ 6.55 ลักษณะการทำงานของรีโครสเซอร์ที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์

โดยผลที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์มีดังต่อไปนี้

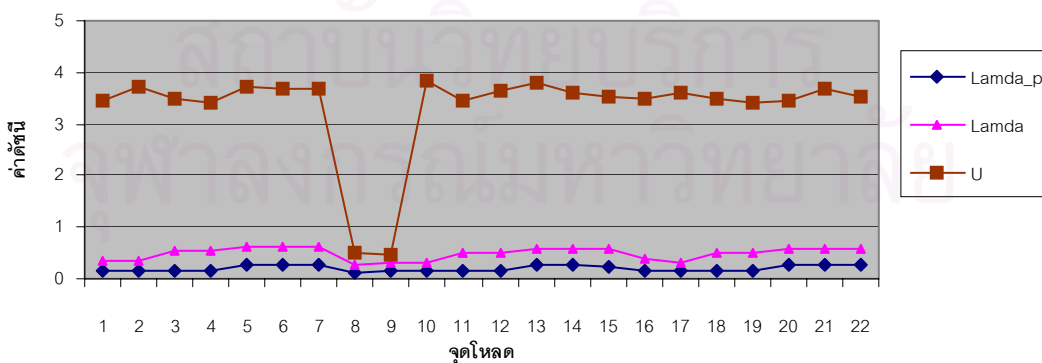
หมวดที่ 1



รูปที่ 6.56 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6
 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1
 สำหรับการผิดปกติแบบ 3 เฟสในระบบที่มีรีโครสเซอร์



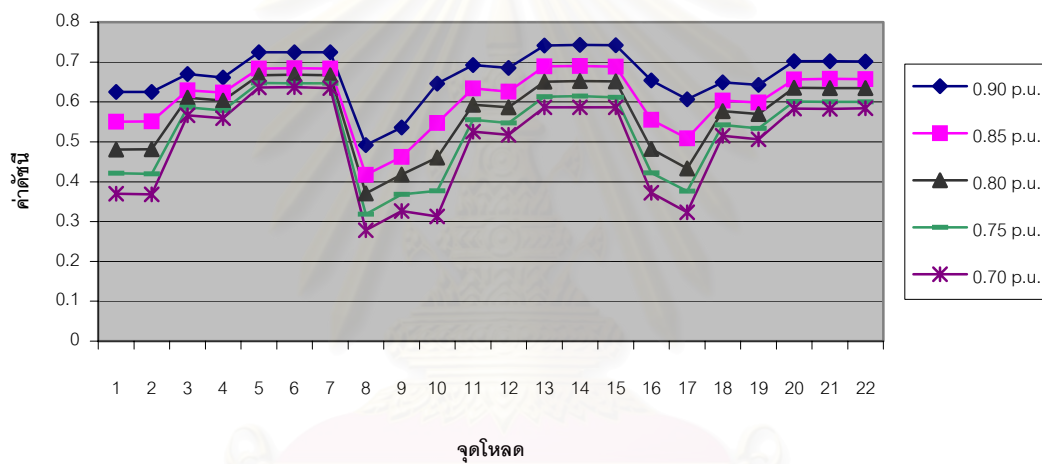
รูปที่ 6.57 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6
 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.80 p.u. และ Time multiplier 0.1
 สำหรับการผิดปกติแบบ 3 เฟสในระบบที่มีรีโครสเซอร์



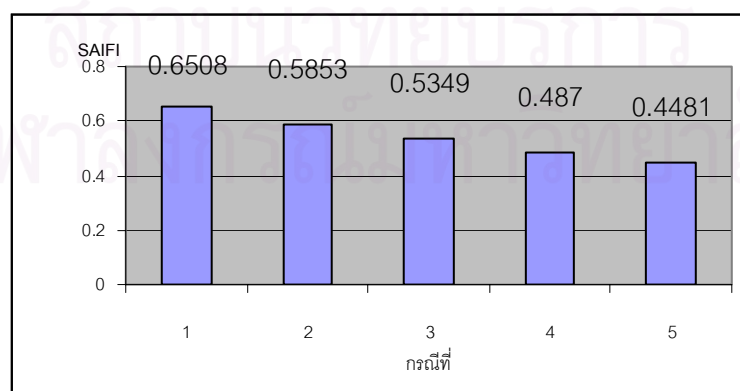
รูปที่ 6.58 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6
 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.70 p.u. และ Time multiplier 0.1
 สำหรับการผิดปกติแบบ 3 เฟสในระบบที่มีรีโครสเซอร์

ตาราง 6.20 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ที่ค่าต่างๆ โดยค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน 0.1 และค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 0.6

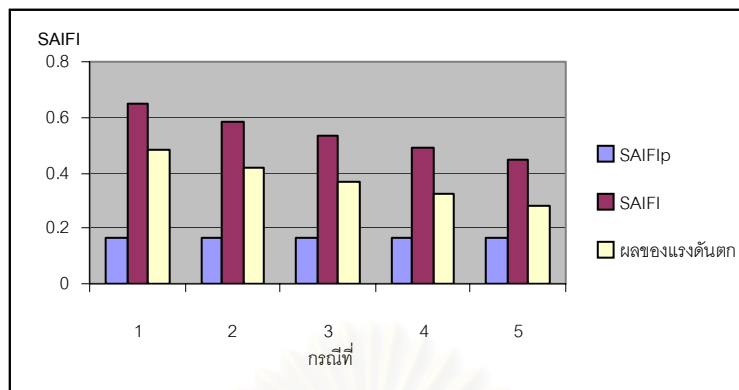
| กรณีที่ | แรงดัน Pick up | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|----------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.90 | 0.1671 | 0.6508 | 3.5909 |
| 2 | 0.85 | 0.1647 | 0.5853 | 3.5778 |
| 3 | 0.80 | 0.1650 | 0.5349 | 3.4859 |
| 4 | 0.75 | 0.1644 | 0.4870 | 3.4518 |
| 5 | 0.70 | 0.1668 | 0.4481 | 3.4788 |



รูปที่ 6.59 กราฟแสดงค่า SAIFI กรณีที่การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ที่ค่าต่างๆ โดยค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน 0.1 และค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 0.6

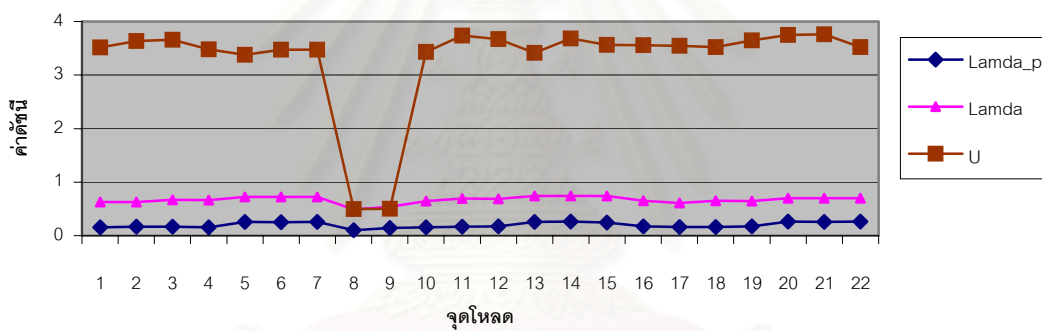


รูปที่ 6.60 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.6

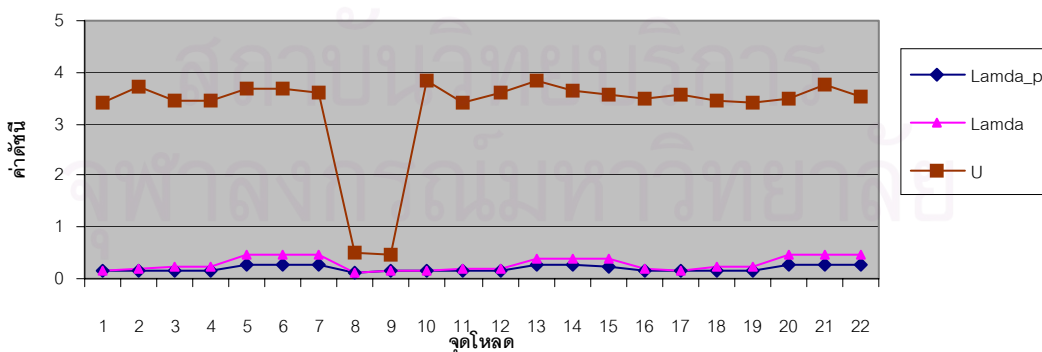


รูปที่ 6.61 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และผลของแรงดันตกที่ค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.6

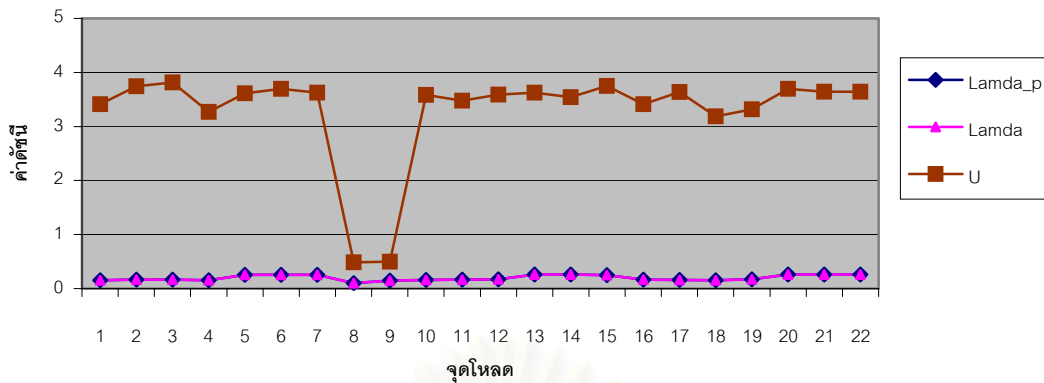
หมวดที่ 2



รูปที่ 6.62 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1



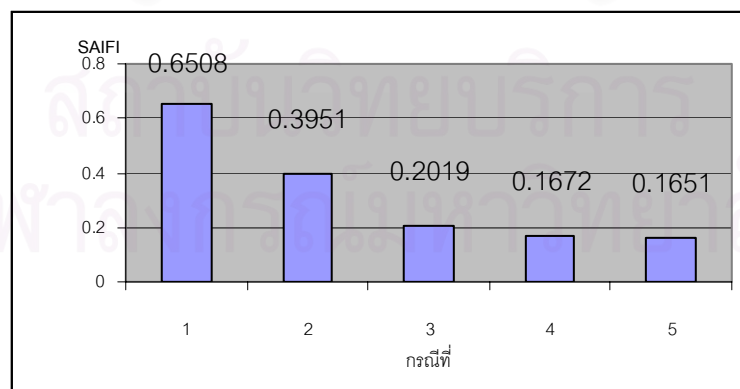
รูปที่ 6.63 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.4



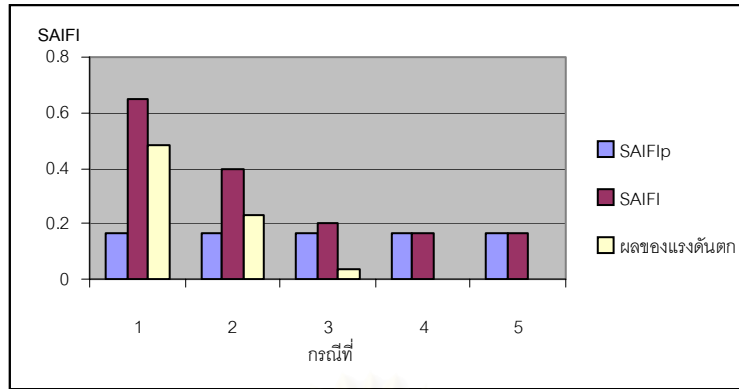
รูปที่ 6.64 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 1.0

ตาราง 6.21 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ที่ค่าต่างๆ โดยค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ 0.90 p.u. ค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 0.6

| กรณี | Time multiplier | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|------|-----------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.1 | 0.1671 | 0.6508 | 3.5909 |
| 2 | 0.2 | 0.1660 | 0.3951 | 3.5561 |
| 3 | 0.4 | 0.1660 | 0.2019 | 3.5428 |
| 4 | 0.7 | 0.1668 | 0.1672 | 3.4269 |
| 5 | 1.0 | 0.1651 | 0.1651 | 3.5307 |

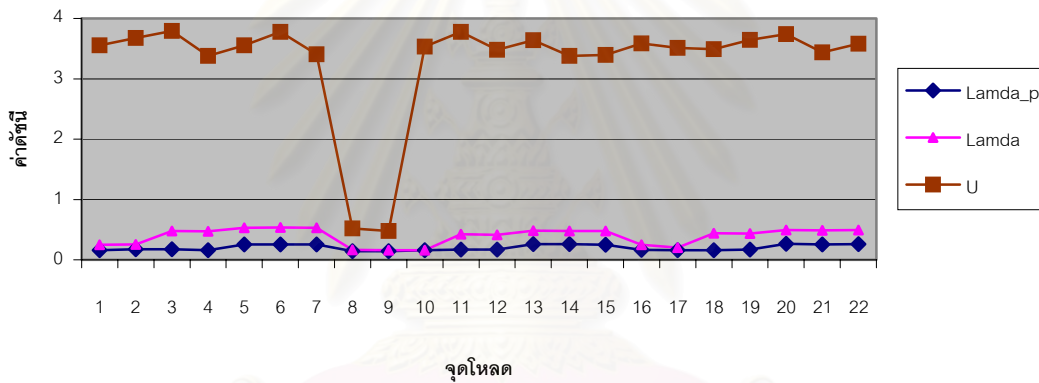


รูปที่ 6.65 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.6

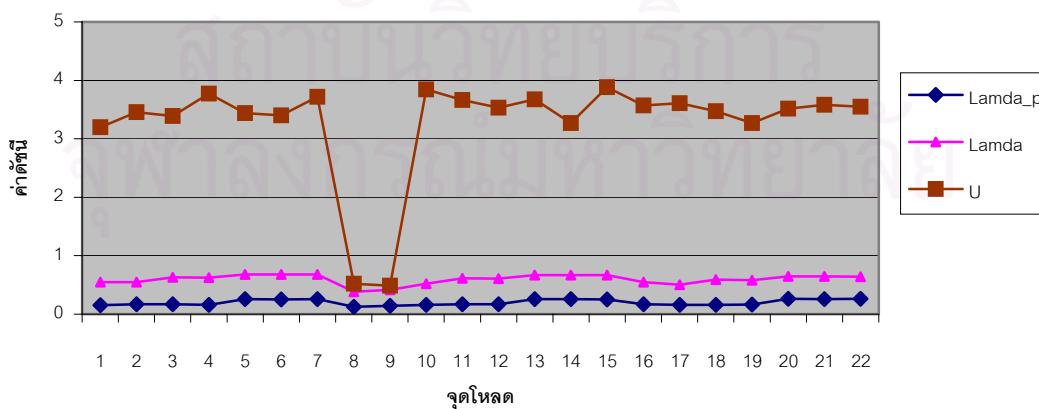


รูปที่ 6.66 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และผลของแรงดันตกที่ค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินต่างๆกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.6

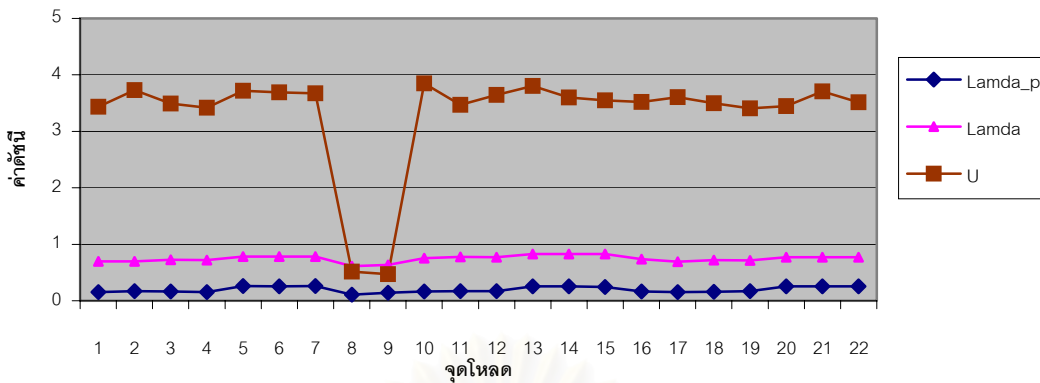
หมวดที่ 3



รูปที่ 6.67 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.3 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1



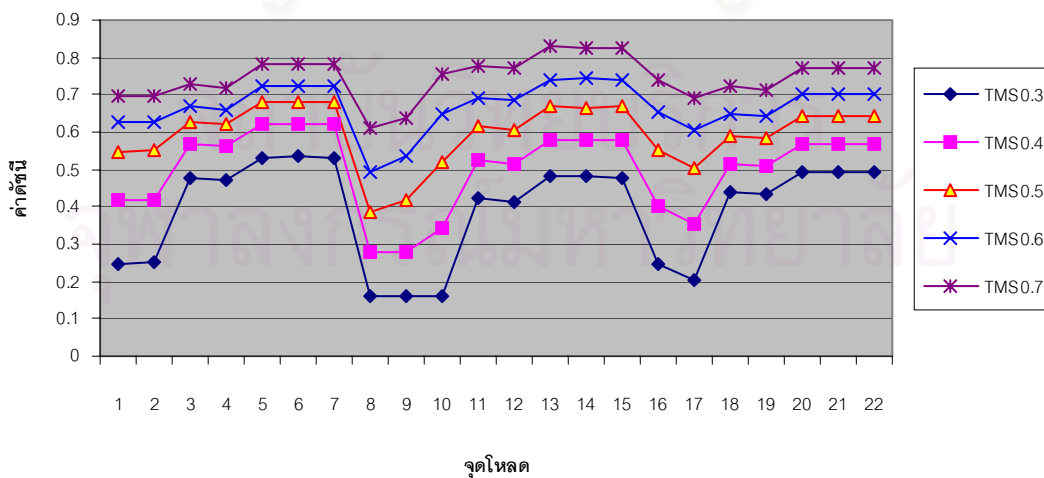
รูปที่ 6.68 กราฟแสดงค่า λ_p , λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.5 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1



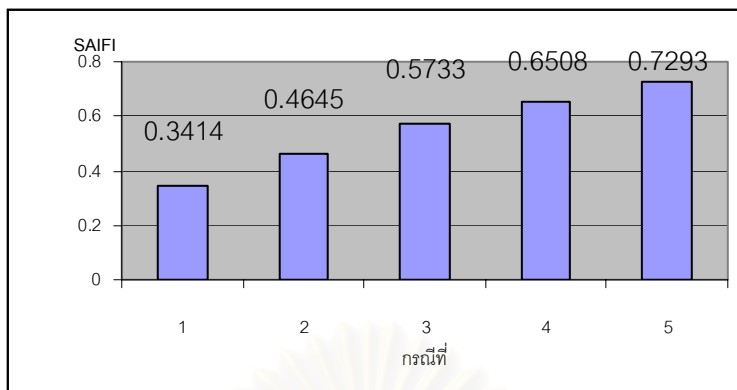
รูปที่ 6.69 กราฟแสดงค่า λ_p, λ และ U กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier 0.7
รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1

ตาราง 6.22 แสดงค่า SAIFI และ SAIDI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.1

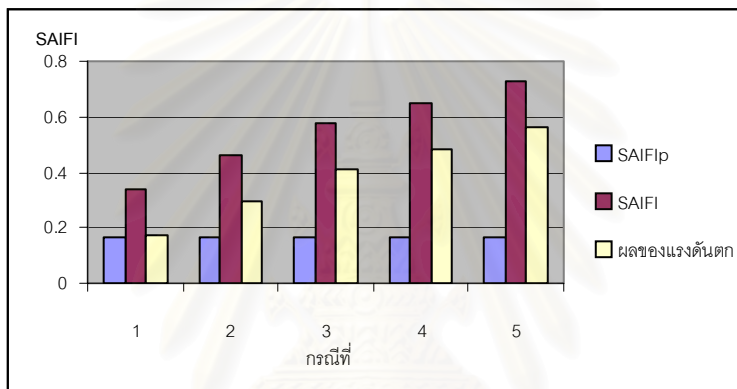
| กรณีที่ | Time multiplier | SAIFI _p | SAIFI | SAIDI |
|---------|-----------------|--------------------|--------|--------|
| 1 | 0.3 | 0.1682 | 0.3414 | 3.6030 |
| 2 | 0.4 | 0.1663 | 0.4645 | 3.5333 |
| 3 | 0.5 | 0.1655 | 0.5733 | 3.4936 |
| 4 | 0.6 | 0.1671 | 0.6508 | 3.5909 |
| 5 | 0.7 | 0.1660 | 0.7293 | 3.5681 |



รูปที่ 6.70 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ Time multiplier ค่าต่าง ๆ
รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่แรงดัน Pick up 0.90 p.u. และ Time multiplier 0.1



รูปที่ 6.71 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI ที่ตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่า แรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.1



รูปที่ 6.72 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI_p, SAIFI และผลของแรงดันตกที่ตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าต่างๆ โดยค่า แรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.1

วิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse Type) โดยมีการติดตั้งรีโครสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันในระบบ

จากการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลเพื่อหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบพบว่า เมื่อทำการปรับตั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 และปรับตั้งการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินให้ทำงานที่ค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าแรงดัน Pick up ไปที่ค่า 0.90, 0.85, 0.80, 0.75 และ 0.70 ตามลำดับ โดยในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีรีโครสเซอร์ต่ออยู่เป็นอุปกรณ์ป้องกันดังรูปที่ 6.20 พบว่าค่า SAIFI_p มีค่าลดลงจากกรณีที่ไม่มีการติดตั้งรีโครสเซอร์ในระบบที่เป็นเช่นนี้มีสาเหตุมาจากรีโครสเซอร์จะช่วยลดอุปกรณ์ที่เกิดการผิดพลาดออกไปจากระบบส่งผลให้จุดโหลดบริเวณอื่น ๆ ได้รับผลกระทบอันเนื่องมาจากแรงดันตกเป็น

เวลาที่สั้นลงกว่ากรณีที่ไม่มีรีโครสเซอร์ติดตั้งอยู่ในระบบ ส่งผลให้ระบบที่มีรีโครสเซอร์ติดตั้งอยู่มีค่า $SAIFI_p$ น้อยกว่าระบบที่ไม่มีรีโครสเซอร์ และเมื่อพิจารณาค่า $SAIFI$ จะพบว่าเมื่อค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่าลดลง ค่าอัตราการล้มเหลวของจุดโหลดก็จะมีค่าลดลงตามค่าแรงดัน Pick up อันเนื่องมาจาก ถ้าทำการปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ให้มีค่าต่ำ ๆ รีเลย์แรงดันต่ำเกินก็จะทำงานเมื่อแรงดัน ณ จุดโหลดมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดัน Pick up ที่ตั้งไว้ ดังนั้น โอกาสที่รีเลย์จะทำงานจึงมีน้อยกว่ากรณีที่ปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ไว้ที่ค่าสูง ๆ ซึ่งเมื่อเกิดแรงดันตกเพียงเล็กน้อย รีเลย์ก็จะเริ่มทำงาน ดังนั้นเมื่อทำการปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ให้มีค่าต่ำ ๆ อัตราการล้มเหลว ณ จุดโหลดก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า $SAIFI$ มีค่าลดลงตามค่าอัตราการล้มเหลว ณ จุดโหลด ดังรูปที่ 6.60

ในหมวดที่ 2 เมื่อปรับตั้งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 และ รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. โดยทำการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของรีเลย์ไว้ที่ค่า 0.1, 0.2, 0.4, 0.7 และ 1.0 ตามลำดับจะพบเช่นเดียวกันว่าค่า $SAIFI_p$ ที่คำนวณออกมาได้มีค่าต่ำกว่าในกรณีที่ไม่มีรีโครสเซอร์ในระบบซึ่งเหตุผลก็เป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น และเมื่อพิจารณาการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินจะพบว่า เมื่อค่า Time multiplier มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่า $SAIFI$ จะมีค่าลดลง เนื่องจาก เมื่อค่า Time multiplier มีค่าเพิ่มมากขึ้นหมายถึงระยะเวลาในการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นไปด้วย ส่งผลให้โอกาสที่จุดโหลดนั้นจะเกิดไฟดับอันเนื่องจากการตัดวงจรของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีน้อยลงเพราะรีเลย์แรงดันต่ำเกินใช้เวลาในการทำงานนานกว่าเวลาที่การผิดปกติ (Fault) จะถูกกำจัดออกไปจากระบบ นั่นคือ ค่า $SAIFI$ จะแปรผกผันกับค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน ดังรูปที่ 6.65

ในหมวดที่ 3 ปรับตั้งให้รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าแรงดัน Pick up มีค่า 0.9 p.u. และ ค่า Time multiplier มีค่า 0.1 โดยทำการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่ค่า 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 ตามลำดับ จะพบเช่นเดียวกันว่าค่า $SAIFI_p$ ที่คำนวณออกมาได้มีค่าต่ำกว่าในกรณีที่ไม่มีรีโครสเซอร์ในระบบซึ่งเหตุผลก็เป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น และเมื่อพิจารณาการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะพบว่า เมื่อค่า Time multiplier มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่า $SAIFI$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจาก เมื่อค่า Time multiplier มีค่าเพิ่มมากขึ้นหมายถึงระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นไปด้วย ส่งผลให้ระยะเวลาที่จุดโหลด ณ ฟีดเดอร์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่ฟีดเดอร์ที่เกิดการผิดปกติขึ้นได้รับผลกระทบจากการเกิดแรงดันตกนั้นยาวนานขึ้นเพราะเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ที่เกิดการผิดปกติทำงานช้าลง ทำให้โอกาสที่รีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ต่ออยู่ ณ จุดโหลดนั้น ๆ จะทำงานก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ค่าอัตราการล้มเหลว ณ จุดโหลดมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นค่า $SAIFI$ จึงมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6.71

6.7 การปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันในระบบให้เหมาะสม (Optimal coordination) ของระบบทดสอบ บัส 2

หากเราพิจารณาถึงการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสมเพื่อที่จะให้เกิดไฟฟ้าดับอันเนื่องมาจากไฟตกให้น้อยที่สุด โดยพิจารณาจากผลการทดลองที่แสดงไว้ข้างต้น ซึ่งเราจะพิจารณาเฉพาะการปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์และการตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินเท่านั้น โดยไม่พิจารณาถึงค่าแรงดัน Pick up ที่เลือกที่จะพิจารณาเฉพาะค่า Time multiplier เท่านั้น เพราะว่าค่าแรงดัน Pick up ที่จะทำการปรับตั้งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทนต่อไฟฟ้าตกของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ ณ จุดโหลดด้วย และ ดังผลการทดลองที่แสดงมาทั้งหมดพบว่าถ้าเราปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up มีค่าน้อย อัตราการล้มเหลวอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย หรือพูดง่าย ๆ ว่ายิ่งตั้งค่าแรงดัน Pick up ต่ำได้เท่าไร โอกาสที่จะเกิดไฟดับอันเนื่องมาจากไฟตกก็จะมีน้อยลงไปเท่านั้น แต่อย่างที่กล่าวมาข้างต้น การปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ ณ จุดโหลดด้วย ดังนั้นจึงไม่นำค่าแรงดัน Pick up มาพิจารณาถึงการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ให้เหมาะสม โดยในหัวข้อนี้เราได้ทำการจำลองเหตุการณ์เพิ่มเติมจากหัวข้อที่ 6.6 และพิจารณาเลือกการปรับตั้งค่าการทำงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบทดสอบบัส 2 นี้ โดยผลการจำลองเหตุการณ์เป็นดังนี้

ตารางที่ 6.23 แสดงค่า SAIFI ที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าต่าง ๆ กัน

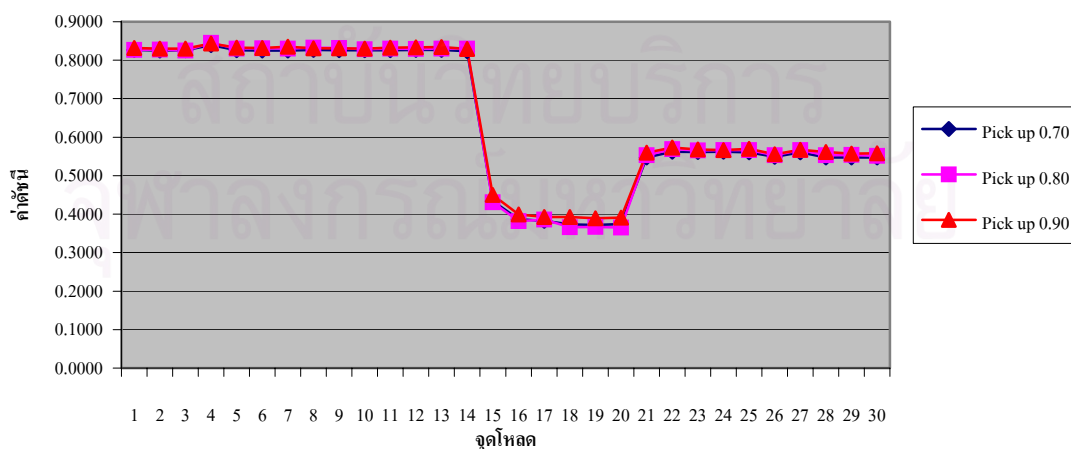
| รีเลย์แรงดันต่ำเกิน | เซอร์กิตเบรกเกอร์ | | | | | |
|---------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|
| | Time multiplier | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| 0.1 | 0.3414 | 0.4645 | 0.5733 | 0.6508 | 0.7293 | |
| 0.2 | 0.1813 | 0.2453 | 0.3300 | 0.3951 | 0.4467 | |
| 0.4 | 0.1662 | 0.1649 | 0.1777 | 0.2019 | 0.2359 | |
| 0.7 | 0.1676 | 0.1676 | 0.1656 | 0.1672 | 0.1664 | |
| 1 | 0.1672 | 0.1659 | 0.1649 | 0.1651 | 0.1661 | |

จากตารางพบว่าการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินและเซอร์กิตเบรกเกอร์จะให้ค่าดัชนี SAIFI ต่าง ๆ กันออกไป แต่จะมีการตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์อยู่กลุ่มหนึ่งที่ทำให้ค่า SAIFI ใกล้เคียงกันคือที่แสดงเป็นตัวหนาในตารางที่ 6.23 แต่ค่าที่ควรจะทำกรปรับตั้งในทางปฏิบัติจริง ๆ คือ ที่ค่า Time multiplier ต่ำ ๆ ของทั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินและเซอร์กิตเบรกเกอร์ในที่นี้

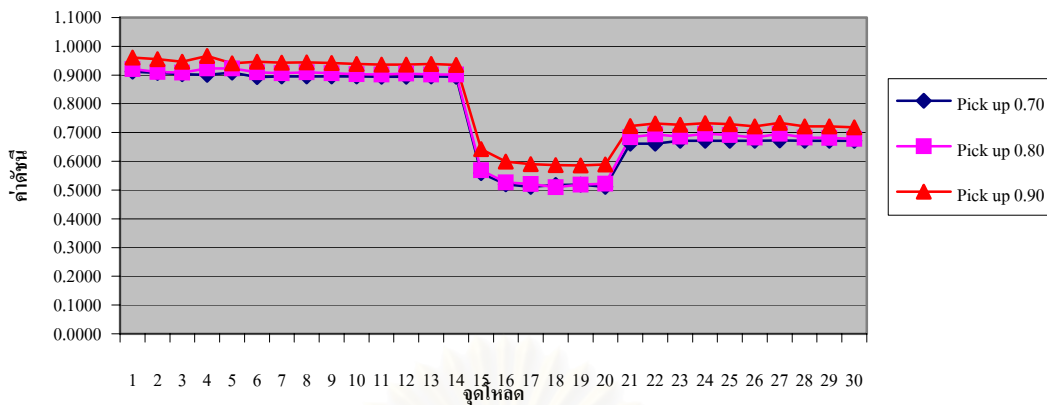
คือที่ค่า Time multiplier 0.4 สำหรับรีเลย์แรงดันต่ำเกินและค่า Time multiplier 0.3 สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ปรับตั้งค่า Time multiplier ไว้ที่ค่าต่ำ ๆ เนื่องจากการป้องกันอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ ณ จุดโหลดไม่ไหวได้รับความเสียหายเนื่องจากการเกิดแรงดันตกเป็นระยะเวลานาน เพราะอุปกรณ์ป้องกันทั้งสองจะทำงานตัดวงจรอย่างรวดเร็ว และแม้ว่าจะปรับตั้งค่า Time multiplier ของทั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินและเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่ค่าต่ำ หรือให้อุปกรณ์ป้องกันทั้งสองทำงานตัดวงจรอย่างรวดเร็ว แต่ค่าดัชนี SAIFI ก็ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับค่าดัชนี SAIFI ในกรณีการปรับตั้งให้อุปกรณ์ป้องกันทั้งสองทำงานที่ค่า Time multiplier สูง ๆ ซึ่งทำให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบทนต่อแรงดันตกเป็นระยะเวลานานซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ ณ จุดโหลดได้รับความเสียหายได้

6.8 ผลการทดสอบกับระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

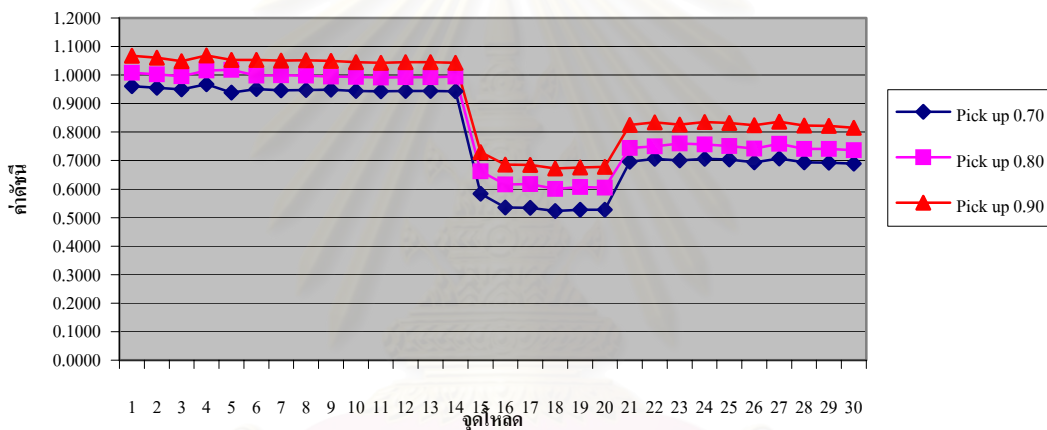
จากข้อมูลความยาวฟีดเดอร์ของระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแสดงไว้ในรูปที่ 6.1 ข้อมูลประเภทจำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละจุดโหลดแสดงในตารางที่ 6.5 สามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ซึ่งคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า โดยเงื่อนไขในการคำนวณคือ เมื่อหม้อแปลงเกิดขัดข้องจะเลือกใช้วิธีซ่อมหม้อแปลงและผลของวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลซึ่งกำหนดให้ค่า relative uncertainty ต่ำกว่า 0.0002 จึงหยุดคำนวณโดยพิจารณาจากค่า SAIFI ซึ่งทำให้ค่า relative uncertainty สูงสุดในแต่ละรอบการคำนวณ โดยจะทำการปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินไว้ที่ค่า 0.1 และปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินและค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่ค่าต่าง ๆ ซึ่งผลการทดสอบมีดังนี้



รูปที่ 6.73 กราฟแสดงค่า SAIFI กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 6.74 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.7
 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 6.75 กราฟแสดงค่า λ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 1.0
 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน

ตาราง 6.24 แสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และ $SAIDI$ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ

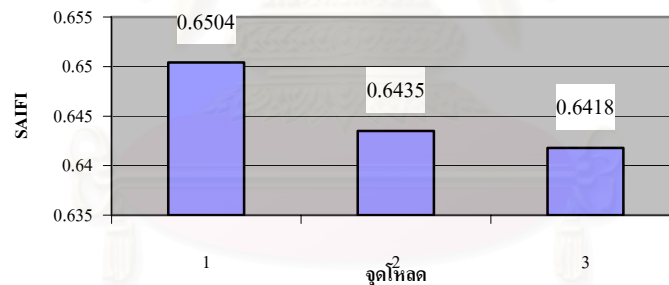
| กรณี | แรงดัน Pick up | $SAIFI_p$ | $SAIFI$ | $SAIDI$ |
|------|----------------|-----------|---------|---------|
| 1 | 0.90 | 0.6425 | 0.6504 | 4.9768 |
| 2 | 0.80 | 0.6403 | 0.6435 | 4.9202 |
| 3 | 0.70 | 0.6418 | 0.6418 | 4.9512 |

ตาราง 6.25 แสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และ $SAIDI$ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ

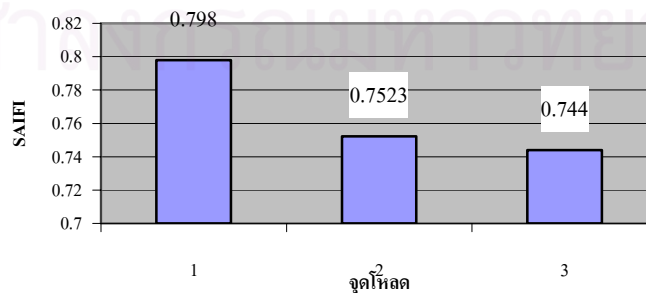
| กรณี | แรงดัน Pick up | $SAIFI_p$ | $SAIFI$ | $SAIDI$ |
|------|----------------|-----------|---------|---------|
| 1 | 0.90 | 0.6354 | 0.7980 | 5.1130 |
| 2 | 0.80 | 0.6389 | 0.7523 | 5.0400 |
| 3 | 0.70 | 0.6380 | 0.7440 | 5.1496 |

ตาราง 6.26 แสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และ $SAIDI$ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 1.0 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ

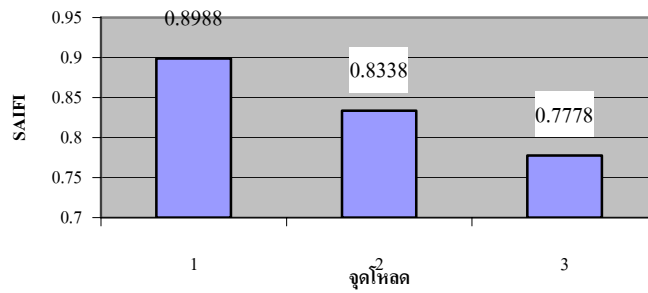
| กรณี | แรงดัน Pick up | $SAIFI_p$ | $SAIFI$ | $SAIDI$ |
|------|----------------|-----------|---------|---------|
| 1 | 0.90 | 0.6383 | 0.8988 | 5.0056 |
| 2 | 0.80 | 0.6509 | 0.8338 | 5.0670 |
| 3 | 0.70 | 0.6484 | 0.7778 | 5.1252 |



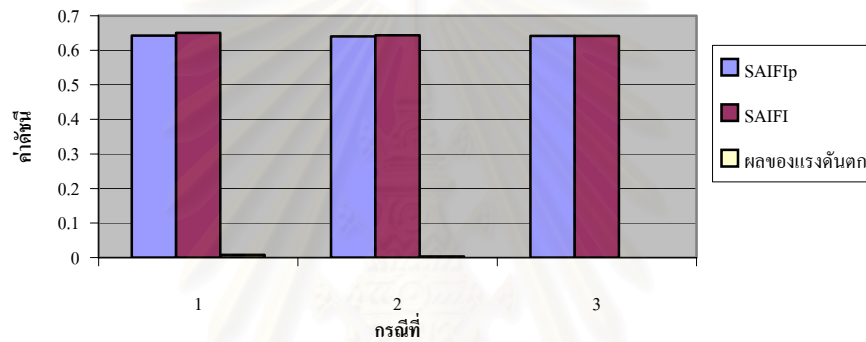
รูปที่ 6.76 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน



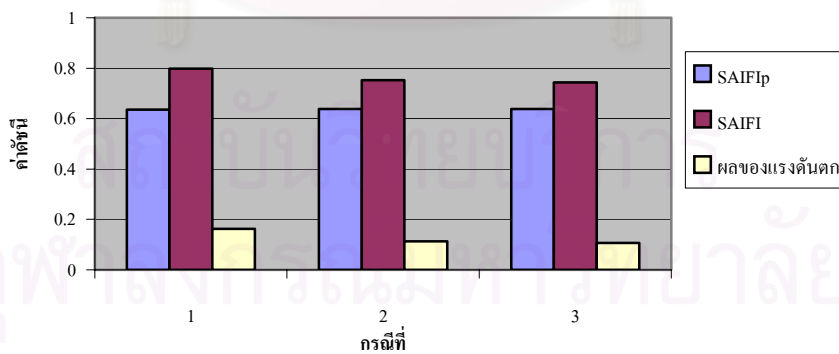
รูปที่ 6.77 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI$ กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน



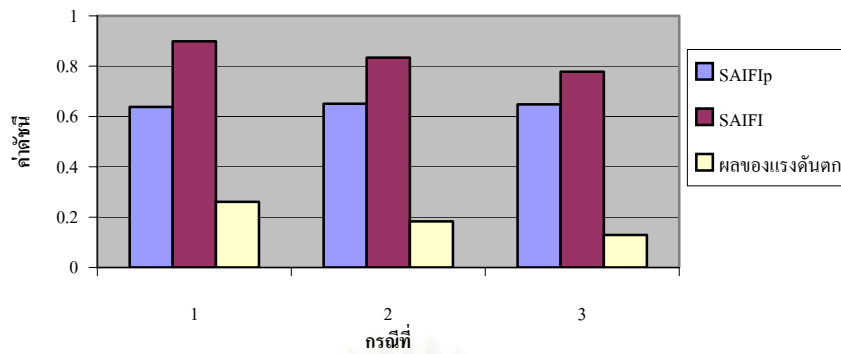
รูปที่ 6.78 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI กรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 1.0 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 6.79 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI_p, SAIFI และผลของแรงดันตกกรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.4 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 6.80 แผนภูมิแท่งแสดงค่า SAIFI_p, SAIFI และผลของแรงดันตกกรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 0.7 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 6.81 แผนภูมิแท่งแสดงค่า $SAIFI_p$, $SAIFI$ และผลของแรงดันตกกรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานที่ค่า Time multiplier 1.0 รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier 0.1 และแรงดัน Pick up ค่าต่าง ๆ กัน

วิเคราะห์ผลการทดสอบระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จากผลการจำลองเหตุการณ์พบว่าเมื่อทำการปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินไว้ที่ค่า 0.1 และค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่ค่า 0.4, 0.7 และ 1.0 จะได้ว่าเมื่อเราพิจารณาที่ค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าคงที่ และปรับเปลี่ยนค่าแรงดัน Pick up ไปที่ค่า 0.90, 0.80 และ 0.70 พบว่า ที่ค่าแรงดัน Pick up ค่าสูงจะให้ค่าอัตราการล้มเหลวของจุดโหลดมาก และเมื่อค่าแรงดัน Pick up มีค่าลดลง ค่าอัตราการล้มเหลวของจุดโหลดก็จะมีค่าลดลงตามค่าแรงดัน Pick up อันเนื่องจากการปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ให้มีค่าต่ำ ๆ รีเลย์แรงดันต่ำเกินก็จะทำงานเมื่อแรงดัน ณ จุดโหลดมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดัน Pick up ที่ตั้งไว้ ส่งผลให้โอกาสที่รีเลย์จะทำงานจึงมีน้อยกว่ากรณีที่ปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ไว้ที่ค่าสูง ๆ ซึ่งเมื่อเกิดแรงดันตกเพียงเล็กน้อยรีเลย์ก็จะเริ่มทำงาน ดังนั้นเมื่อทำการปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ให้มีค่าต่ำ ๆ อัตราการล้มเหลว ณ จุดโหลดก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า SAIFI มีค่าลดลงตามค่าอัตราการล้มเหลว ณ จุดโหลด ดังรูปที่ 6.75-6.77 และหากเราพิจารณาถึงค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะพบว่าที่การปรับตั้งค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบก็จะมีค่าสูงขึ้นตาม เนื่องจากการที่ค่า Time multiplier มีค่าเพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในการตัดวงจรจะยาวนานขึ้นส่งผลทำให้จุดโหลดที่อยู่ ณ ฟีดเดอร์อื่นที่ไม่ใช่ฟีดเดอร์ที่เกิดการผิดปกติต้องทนต่อการเกิดแรงดันตกเป็นระยะเวลานานขึ้น ดังนั้นโอกาสที่รีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ต่ออยู่ ณ จุดโหลดจะทำการตัดจุดโหลดนั้นออกจากระบบย่อมมีมากขึ้นตามไปด้วยส่งผลทำให้ค่าอัตราการล้มเหลวของจุดโหลดมีค่าสูงขึ้น จึง

เป็นสาเหตุให้ค่า *SAIFI* ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้เมื่อทดสอบกับระบบทดสอบ RBTS bus 2 ที่ได้ทดสอบไปในข้างต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการประเมินค่าความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเพื่อพิจารณาถึงผลกระทบของการเกิดแรงดันตกในระบบโดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Matlab และทดสอบโปรแกรมด้วยระบบทดสอบ RBTS บัส 2 และ ระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากการศึกษาทำให้ทราบถึงผลกระทบของแรงดันตกซึ่งส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกเกิดการตัดวงจรเมื่อค่าแรงดันตกจนถึงค่าวิกฤตที่อุปกรณ์นั้นจะทนได้ จากผลการทดสอบกับระบบทดสอบพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระบบเดียวกันที่ไม่คำนึงถึงผลของแรงดันตกกับระบบที่คำนึงถึงผลของแรงดันตกจะได้ว่า ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทจำนวนครั้งในการเกิดไฟดับ (λ และ SAIFI ตามลำดับ) ของระบบที่คำนึงถึงผลของแรงดันตกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ไม่คิดถึงผลของแรงดันตก ซึ่งจะแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใดก็จะขึ้นอยู่กับค่าการปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบ และเนื่องจากในการศึกษานี้ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาในการที่อุปกรณ์จะกลับมาทำงานได้อีกครั้งหนึ่งเมื่อเกิดการตัดวงจรไปเนื่องจากไฟฟ้าดก ดังนั้นในการศึกษานี้จะใช้ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดบเนื่องจกแรงดันตกเป็น 0 ดังนั้นจากผลการทดสอบจะพบว่าค่าดัชนี SAIDI มีค่าเกือบ ๆ จะคงที่ หรือมีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ กรณีในการทดสอบของแต่ละระบบ จากค่าดัชนี λ และ SAIFI ที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวบ่งบอกได้เป็นอย่างดีว่าแรงดันตกเป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดไฟฟ้าดบในระบบได้

จากการศึกษาการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินและเซอร์กิตเบรกเกอร์พบว่าในกรณีของรีเลย์แรงดันต่ำเกินจะมีการปรับตั้งอยู่ 2 ค่า คือ ค่าแรงดัน Pick up และ ค่า Time multiplier ซึ่งค่าแรงดัน Pick up เป็นค่าที่กำหนดว่ารีเลย์จะเริ่มทำงานเมื่อขนาดของแรงดันตกลงไปจนถึงค่าที่ตั้งไว้ โดยจากการศึกษาพบว่าถ้าตั้งค่าแรงดัน Pick up ที่ค่ามาก ๆ (เมื่อเกิดแรงดันตกเพียงเล็กน้อย รีเลย์ก็จะเริ่มทำงาน) จะส่งผลทำให้ค่าอัตราการล้มเหลวเนื่องจากไฟตกมีค่ามาก ในทางกลับกันถ้าตั้งค่าแรงดัน Pick up ไว้ต่ำ ค่าอัตราการล้มเหลวเนื่องจากไฟตกก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย ส่วนในกรณีของการปรับตั้งค่า Time multiplier ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดระยะเวลาการทำงานของรีเลย์ ถ้าตั้งค่า Time multiplier ไว้สูง ๆ รีเลย์จะมีระยะเวลาในการทำงานสูง และถ้าตั้งไว้ต่ำ ๆ รีเลย์จะมีระยะเวลาในการทำงานต่ำตามไปด้วย จากการศึกษพบว่าถ้าเราปรับตั้งค่า Time multiplier ไว้ที่ค่า

สูง จะส่งผลให้ค่าอัตราการผลิตลดลงเนื่องจากไฟตกมีค่าต่ำ เนื่องจากรีเลย์จะมีระยะเวลาในการทำงานสูง จุดโหลดที่รีเลย์นั้นติดตั้งอยู่ก็สามารถทนต่อการเกิดแรงดันตกได้มากขึ้น ทำให้ค่าอัตราการการผลิตลดลง ในกรณีของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เราจะพิจารณาการปรับตั้งค่า Time multiplier ซึ่งจะมีลักษณะเดียวกันกับรีเลย์แรงดันต่ำเกินคือ ถ้าปรับ Time multiplier ไว้ที่ค่ามาก เซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะมีระยะเวลาในการทำงานมาก และในทางกลับกันถ้าตั้ง Time multiplier ไว้ที่ค่าน้อย เซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะมีระยะเวลาในการทำงานน้อยตามไปด้วย และจากการศึกษาพบว่า ทั้งระบบทดสอบ RBTS บัส 2 และระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่าการปรับตั้งที่ค่า Time multiplier น้อย จะทำให้ค่าอัตราการการผลิตมีค่าน้อยตามไปด้วย และ ถ้าปรับ time multiplier ให้มากขึ้น อัตราการผลิตก็จะมีค่าสูงขึ้นตาม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ระบบที่นำมาทดสอบเป็นระบบที่มีหลายเฟส เมื่อเกิดการผิดปกติขึ้นที่เฟสใด ๆ ก็ย่อมส่งผลต่อเฟสอื่น ๆ ที่เหลือ ดังนั้นถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางของเฟสที่เกิดการผิดปกติขึ้นนั้นทำงานอย่างรวดเร็วย่อมทำให้ผลกระทบต่อจุดโหลดที่อยู่ ณ เฟสใด ๆ น้อย หรือจุดโหลดที่อยู่ ณ เฟสอื่นก็จะเกิดแรงดันตกในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกนั้นยังไม่พอเพียงที่จะทำให้รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำการตัดจุดโหลดนั้นออกจากระบบจึงมีอัตราการการผลิตต่ำ แต่ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางเฟสใดทำงานช้า หรือใช้เวลาในการตัดวงจรนานย่อมส่งผลทำให้จุดโหลดที่อยู่ ณ เฟสอื่น ๆ ได้รับผลกระทบมาก หรือ จุดโหลดต้องทนต่อแรงดันตกเป็นระยะเวลานานนั่นเอง ดังนั้นโอกาสที่รีเลย์แรงดันต่ำเกินจะทำการตัดจุดโหลดออกจากระบบย่อมมีสูงกว่า จึงทำให้ค่า λ ที่แต่ละจุดโหลดมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางเฟสใดมีค่ามากขึ้น

จากการทำวิจัยพบว่าหากต้องการปรับตั้งการทำงานร่วมกันระหว่างเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีโครสเซอร์จะพบว่าควรที่จะปรับตั้งการทำงานของรีโครสเซอร์ให้ทำงานเร็วกว่าการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดไฟดับเนื่องจากการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ส่วนกรณีการปรับตั้งค่าการทำงานร่วมกันระหว่างเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์แรงดันต่ำเกินจุดที่เหมาะสม คือ ควรที่จะให้รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานก่อนหรือมีระยะเวลาในการทำงานน้อยกว่าของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เช่นเดียวกับกรณีการปรับตั้งค่าการทำงานร่วมกันของเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีโครสเซอร์ เพื่อเป็นการช่วยให้จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟดับมีน้อยที่สุด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ซึ่งเป็นวิธีที่มีข้อดีคือมีความยืดหยุ่นในการใช้งานแต่ยังมีปัญหาเรื่องความแม่นยำ ซึ่งในการคำนวณ ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ซึ่งถ้าเราเพิ่มจำนวนรอบในการจำลองเหตุการณ์ให้มากขึ้นก็จะทำให้ค่าผลตอบแทนที่ได้มีความคลาดเคลื่อนลดลง แต่ระยะเวลาในการคำนวณก็จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบในการจำลองเหตุการณ์ที่เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้ข้อมูลทางสถิติการทำงานของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าในประเทศไทยยังหาได้ยาก ทำให้ไม่ทราบค่าอัตราการล้มเหลวและอัตราการซ่อมแซมของอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งการที่ไม่มีข้อมูลที่ถูกต้องของค่าทั้งสองนี้ส่งผลให้ดัชนีที่คำนวณออกมาได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

7.2 ข้อเสนอแนะและงานที่ควรดำเนินการต่อไป

จากผลการศึกษาและวิจัยข้างต้นเราพอที่จะนำเสนอแนวทางในการดำเนินงานต่อไปได้ ดังนี้

- 1) ควรพิจารณาครอบคลุมถึงข้อจำกัดอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานจริง เช่น แผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ การถ่ายโอนโหลดแบบจำกัด การพิจารณาถึงค่าระยะเวลาในการที่อุปกรณ์จะกลับมาทำงานได้อีกครั้งหนึ่งเมื่อเกิดการตัดวงจรไปเนื่องจากไฟฟ้าตกเพื่อให้ได้ผลที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น
- 2) ควรที่จะพัฒนาโปรแกรมที่ประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบอื่น ๆ เช่น ระบบจำหน่ายแบบบวงแหวน รวมถึงพิจารณาผลของอุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ นอกเหนือจากในการวิจัยนี้ และ การพิจารณาผลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบจำหน่าย (Distribution generator) ด้วย
- 3) ควรจะพิจารณาถึงค่าเสียหายในการเกิดไฟฟ้าดับอันเนื่องจากการแรงดันตกเพิ่มเติมเพื่อประโยชน์ต่อการประเมินมูลค่าความเสียหายเพื่อให้ทางการไฟฟ้าและผู้ประกอบการพิจารณาได้อย่างชัดเจน

รายการอ้างอิง

1. L.Goel and R.Billinton. Utilization of Interrupted Energy Assessment Rate to Evaluate Reliability Worth in Electrical Power Systems. IEEE Transactions on Power Systems. Vol.8,No.3(Aug1993):929-936.
2. Billinton R. and Allan.R.N. Power system reliability in perspective. Electronics and Power. 1984,30,pp. 231-236.
3. R.Allan and R.Billinton. Power System Reliability and Its Assessment Part3 Distribution System. Power Engineering journal. August 1993:185-192.
4. R.Billinton and R.N.Allan. Reliability Evaluation of Engineering Systems Concept and Techniques. Second Edition,PLENUM PRESS,1992.
5. R.Billinton and R.N.Allan. Reliability Evaluation of Power Systems. Pitman Advanced Publishing Program,1984.
6. วรพงษ์ คีอามย์. การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
7. L.Goel,R.Billinton and R.Gupta. Basic Data and Evaluation of Distribution System Reliability Worth. Power System Research Group Department of Electrical Engineering University of Sakatchewan,1991.
8. S.R.Gilligan. A method for Estimating the Reliability of Distribution Circuits. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol.7,No.2 (April 1992):806-814
9. G.Kijolle and Kjell Sand. RELRAD-An Analytical Approach for Distribution System Reliability Assessment. IEEE Transactions on power delivery. Vol.7 , No. 2 (April 1992):809-814.
10. D.O.Kovel,J.C.Chang,J.Leonard. Rural power quality. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol.28(1992) :761-766.
11. M.H.J.Bollen. Method for Reliability Analysis of Industrial Distribution Systems. IEE PROCEEDING-C. Vol.140 , No.6 (November 1993).
12. M.H.J Bollen. Reliability Analysis of Industrial Power Systems Taking into account Voltage Sags. IAS'93. Conference Record of the 1993 IEEE Industry Applications Conference 28th IAS Annual Meeting. Vol.2 , pp.1461-1468.

13. M.H.J Bollen. , P.Massee. A Classification of failure of the protection. 3rd Int.Conf.on Probabilistic Methods Applied to electric Power Systems. July1991. IEE Conf. Proc. 338:142-146
14. P.Massee,M.H.J Bollen. Reliability Analysis of Industrial Electrical Supply. 3rd Int.Conf.on Probabilistic Methods Applied to electric Power Systems. July1991. IEE Conf.Proc.338:220-223.
15. Rubinstein R.Y. Simulation and the Monte Carlo Method. (n.p.):Wiley,1981.
16. โสทธิพงษ์ พิชัยสวัสดิ์. การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานไฟฟ้าโดยการใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539
17. Chatfield,C. Statistics for Technology. (n.p.):Chapman and Hall,1979.
18. Gordon,G. System Simulation. (n.p.):Prentice Hall,1969.
19. R.N.Allen,I.Sjarief,K.S. So,L.Goel,and R.Billinton. A Reliability Test System for Educational Purposes-Basic Distribution System Data and Results. IEEE Transaction on Power Systems 6(May 1991):813-820.
20. L.Goel,S.Kumar,and R.Billinton. A Reliability Test System for Educational Purposes-Basic IEEE Transaction on Power System4(August 1989):1238-1244.
21. J.Endrenyi. Reliability Modeling in Electric Power System. John Wiley&Sons,1980.
22. R.Billinton and G.Lian. Monte Carlo Approach to Substation Reliability Evaluation. IEE Proceedings-C140(March 1993):147-152.
23. Glenn W. Stagg and Ahmed H. Ei-Abiad. Computer Methods in Power Systems Analysis. McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS,1968.
24. พงศกร ยุทธโกวิท. การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายโดยคำนึงถึงผลของแรงดันตก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
25. R.Billinton ,Fellow , P.Wang. Teaching Distribution System Reliability Evaluation Using Monte Carlo Simulation. IEEE Transactions on Power Systems,Vol 14,No.2,May 1999.
26. Prasit Pittayapat. Industrial and Commercial Power System Protection. Center of Excellence Power Technology Faculty of Engineering Chulalongkorn University, October 1-3 1998.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ผลการทดสอบ

ก. ผลการทดสอบสำหรับระบบทดสอบบัส 2

ระบบทดสอบบัส 2 เป็นระบบที่ประกอบไปด้วย จุดโหลด 22 จุด ส่วนรายละเอียดของระบบทดสอบนี้แสดงไว้ในบทที่ 6 หัวข้อ 6.1

ก.1 ผลการทดสอบสำหรับระบบทดสอบบัส 2 ต่อระดับแรงดันตก

ในหัวข้อนี้ประกอบไปด้วยการทดสอบต่อระดับแรงดันตก 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.90 p.u. สำหรับการฝึกพร้อมแบบ 3 เฟส ผลการจำลองเหตุการณ์มีดังนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2459 | 0.6955 | 3.5287 |
| 2 | 0.2621 | 0.6964 | 3.8351 |
| 3 | 0.2580 | 0.8161 | 3.5618 |
| 4 | 0.2464 | 0.8157 | 3.5114 |
| 5 | 0.2612 | 0.8151 | 3.7348 |
| 6 | 0.2566 | 0.8151 | 3.6856 |
| 7 | 0.2630 | 0.8152 | 3.6629 |
| 8 | 0.1446 | 0.4977 | 0.5320 |
| 9 | 0.1409 | 0.4974 | 0.4721 |
| 10 | 0.2471 | 0.7037 | 3.9427 |
| 11 | 0.2542 | 0.8024 | 3.4962 |
| 12 | 0.2568 | 0.8035 | 3.7114 |
| 13 | 0.2552 | 0.8025 | 3.8351 |
| 14 | 0.2549 | 0.8016 | 3.6065 |
| 15 | 0.2450 | 0.8007 | 3.5390 |
| 16 | 0.2523 | 0.7002 | 3.6135 |
| 17 | 0.2422 | 0.6543 | 3.6413 |
| 18 | 0.2440 | 0.7871 | 3.5399 |
| 19 | 0.2561 | 0.7861 | 3.4755 |
| 20 | 0.2555 | 0.7844 | 3.4632 |
| 21 | 0.2537 | 0.7853 | 3.7228 |
| 22 | 0.2577 | 0.7840 | 3.5271 |
| SAIFI_p | 0.2518 | | |
| SAIFI | 0.7501 | | |
| SAIDI | 3.6338 | | |

ตารางที่ ก.2 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.6 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2461 | 1.0005 | 3.5539 |
| 2 | 0.2616 | 1.0010 | 3.8223 |
| 3 | 0.2582 | 1.0191 | 3.5364 |
| 4 | 0.2462 | 1.0189 | 3.4636 |
| 5 | 0.2607 | 1.0179 | 3.7185 |
| 6 | 0.2568 | 1.0180 | 3.6947 |
| 7 | 0.2628 | 1.0177 | 3.6550 |
| 8 | 0.1448 | 0.7577 | 0.5331 |
| 9 | 0.1413 | 0.7572 | 0.4732 |
| 10 | 0.2465 | 1.0479 | 3.9166 |
| 11 | 0.2537 | 1.0520 | 3.5146 |
| 12 | 0.2564 | 1.0532 | 3.7318 |
| 13 | 0.2549 | 1.0523 | 3.8144 |
| 14 | 0.2545 | 1.0509 | 3.5707 |
| 15 | 0.2446 | 1.0503 | 3.5565 |
| 16 | 0.2531 | 1.0311 | 3.6228 |
| 17 | 0.2434 | 0.9861 | 3.7076 |
| 18 | 0.2445 | 1.0163 | 3.5652 |
| 19 | 0.2568 | 1.0153 | 3.4765 |
| 20 | 0.2567 | 1.0128 | 3.4661 |
| 21 | 0.2545 | 1.0132 | 3.7216 |
| 22 | 0.2583 | 1.0119 | 3.5308 |
| SAIFI_p | 0.2519 | | |
| SAIFI | 1.0212 | | |
| SAIDI | 3.6435 | | |

ตารางที่ ก.3 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2457 | 1.3963 | 3.5182 |
| 2 | 0.2619 | 1.3974 | 3.8307 |
| 3 | 0.2580 | 1.3925 | 3.5593 |
| 4 | 0.2463 | 1.3924 | 3.4939 |
| 5 | 0.2610 | 1.3906 | 3.7385 |
| 6 | 0.2567 | 1.3906 | 3.6912 |
| 7 | 0.2529 | 1.3902 | 3.6524 |
| 8 | 0.1448 | 1.2934 | 0.5330 |
| 9 | 0.1411 | 1.2923 | 0.4727 |
| 10 | 0.2469 | 1.4253 | 3.9305 |
| 11 | 0.2539 | 1.4188 | 3.5010 |
| 12 | 0.2566 | 1.4196 | 3.7232 |
| 13 | 0.2550 | 1.4192 | 3.8230 |
| 14 | 0.2546 | 1.4178 | 3.5953 |
| 15 | 0.2448 | 1.4172 | 3.5431 |
| 16 | 0.2526 | 1.4736 | 3.6190 |
| 17 | 0.2424 | 1.4288 | 3.6462 |
| 18 | 0.2443 | 1.4243 | 3.5597 |
| 19 | 0.2563 | 1.4224 | 3.4662 |
| 20 | 0.2559 | 1.4205 | 3.4632 |
| 21 | 0.2539 | 1.4206 | 3.7127 |
| 22 | 0.2578 | 1.4193 | 3.5103 |
| SAIFI_p | 0.2518 | | |
| SAIFI | 1.4137 | | |
| SAIDI | 3.6339 | | |

ตารางที่ ก.4 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.8 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2460 | 1.6478 | 3.5214 |
| 2 | 0.2623 | 1.6494 | 3.8368 |
| 3 | 0.2582 | 1.6479 | 3.5550 |
| 4 | 0.2466 | 1.6475 | 3.5196 |
| 5 | 0.2612 | 1.6482 | 3.7288 |
| 6 | 0.2568 | 1.6482 | 3.6952 |
| 7 | 0.2532 | 1.6486 | 3.6717 |
| 8 | 0.1446 | 1.6330 | 0.5323 |
| 9 | 0.1407 | 1.6330 | 0.4711 |
| 10 | 0.2470 | 1.6870 | 3.9454 |
| 11 | 0.2540 | 1.6845 | 3.4958 |
| 12 | 0.2566 | 1.6853 | 3.7122 |
| 13 | 0.2552 | 1.6867 | 3.8452 |
| 14 | 0.2547 | 1.6854 | 3.6146 |
| 15 | 0.2448 | 1.6851 | 3.5469 |
| 16 | 0.2524 | 1.6946 | 3.6151 |
| 17 | 0.2420 | 1.6505 | 3.6497 |
| 18 | 0.2441 | 1.6500 | 3.5489 |
| 19 | 0.2560 | 1.6486 | 3.4827 |
| 20 | 0.2554 | 1.6489 | 3.4776 |
| 21 | 0.2535 | 1.6503 | 3.7313 |
| 22 | 0.2576 | 1.6490 | 3.5346 |
| SAIFI_p | 0.2518 | | |
| SAIFI | 1.6614 | | |
| SAIDI | 3.6356 | | |

ตารางที่ ก.5 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.9 p.u. สำหรับการผิดพ่วงแบบ 3 เฟส

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2471 | 1.6567 | 3.5890 |
| 2 | 0.2578 | 1.6564 | 3.4220 |
| 3 | 0.2621 | 1.6582 | 3.8834 |
| 4 | 0.2466 | 1.6561 | 3.2855 |
| 5 | 0.2586 | 1.6567 | 3.5908 |
| 6 | 0.2554 | 1.6566 | 3.6228 |
| 7 | 0.2596 | 1.6564 | 3.5450 |
| 8 | 0.1384 | 1.6426 | 0.5153 |
| 9 | 0.1422 | 1.6426 | 0.4788 |
| 10 | 0.2465 | 1.6886 | 3.7213 |
| 11 | 0.2547 | 1.6895 | 3.8897 |
| 12 | 0.2594 | 1.6884 | 3.6984 |
| 13 | 0.2564 | 1.6881 | 3.6024 |
| 14 | 0.2626 | 1.6895 | 3.8916 |
| 15 | 0.2438 | 1.6877 | 3.5480 |
| 16 | 0.2572 | 1.7036 | 3.6499 |
| 17 | 0.2459 | 1.6609 | 3.5298 |
| 18 | 0.2478 | 1.6605 | 3.5337 |
| 19 | 0.2592 | 1.6612 | 3.7866 |
| 20 | 0.2596 | 1.6600 | 3.5807 |
| 21 | 0.2575 | 1.6608 | 3.5530 |
| 22 | 0.2593 | 1.6597 | 3.4207 |
| SAIFI_p | 0.2533 | | |
| SAIFI | 1.6690 | | |
| SAIDI | 3.6668 | | |

ตารางที่ ก.6 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.5 p.u. สำหรับการผิดปกติแบบ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2482 | 0.6884 | 3.2858 |
| 2 | 0.2623 | 0.6899 | 3.6648 |
| 3 | 0.2604 | 0.8097 | 3.6017 |
| 4 | 0.2403 | 0.8099 | 3.6235 |
| 5 | 0.2618 | 0.8072 | 3.4594 |
| 6 | 0.2423 | 0.8087 | 3.7534 |
| 7 | 0.2608 | 0.8080 | 3.5579 |
| 8 | 0.1400 | 0.4930 | 0.5126 |
| 9 | 0.1428 | 0.4927 | 0.4917 |
| 10 | 0.2485 | 0.7052 | 3.4973 |
| 11 | 0.2596 | 0.8058 | 3.7095 |
| 12 | 0.2617 | 0.8050 | 3.6308 |
| 13 | 0.2587 | 0.8033 | 3.5464 |
| 14 | 0.2596 | 0.8040 | 3.5847 |
| 15 | 0.2501 | 0.8042 | 3.7145 |
| 16 | 0.2529 | 0.6984 | 3.8330 |
| 17 | 0.2502 | 0.6472 | 3.2019 |
| 18 | 0.2508 | 0.7774 | 3.3993 |
| 19 | 0.2615 | 0.7781 | 3.5432 |
| 20 | 0.2608 | 0.7757 | 3.4275 |
| 21 | 0.2598 | 0.7760 | 3.5742 |
| 22 | 0.2644 | 0.7764 | 3.5460 |
| SAIFI_p | 0.2557 | | |
| SAIFI | 0.7458 | | |
| SAIDI | 3.5067 | | |

ตารางที่ ก.7 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.6 p.u. สำหรับการผิดปกติแบบ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2416 | 0.9943 | 3.6469 |
| 2 | 0.2545 | 0.9940 | 3.6585 |
| 3 | 0.2513 | 1.0097 | 3.2722 |
| 4 | 0.2418 | 1.0123 | 3.7175 |
| 5 | 0.2556 | 1.0090 | 3.6617 |
| 6 | 0.2512 | 1.0090 | 3.5298 |
| 7 | 0.2550 | 1.0090 | 3.6872 |
| 8 | 0.1373 | 0.7552 | 0.4974 |
| 9 | 0.1409 | 0.7545 | 0.4869 |
| 10 | 0.2503 | 1.0552 | 3.5373 |
| 11 | 0.2605 | 1.0616 | 3.7231 |
| 12 | 0.2633 | 1.0596 | 3.3543 |
| 13 | 0.2595 | 1.0597 | 3.6829 |
| 14 | 0.2650 | 1.0596 | 3.6417 |
| 15 | 0.2435 | 1.0603 | 3.8545 |
| 16 | 0.2540 | 1.0289 | 3.3678 |
| 17 | 0.2448 | 0.9819 | 3.4320 |
| 18 | 0.2460 | 1.0111 | 3.6422 |
| 19 | 0.2613 | 1.0109 | 3.5918 |
| 20 | 0.2592 | 1.0072 | 3.4388 |
| 21 | 0.2572 | 1.0072 | 3.5846 |
| 22 | 0.2599 | 1.0079 | 3.6463 |
| SAIFI_p | 0.2525 | | |
| SAIFI | 1.0197 | | |
| SAIDI | 3.5396 | | |

ตารางที่ ก.8 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.7 p.u. สำหรับการผิดปกติแบบ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2427 | 1.3956 | 3.8016 |
| 2 | 0.2533 | 1.3948 | 3.6874 |
| 3 | 0.2517 | 1.3890 | 3.3583 |
| 4 | 0.2393 | 1.3895 | 3.3466 |
| 5 | 0.2526 | 1.3869 | 3.3887 |
| 6 | 0.2488 | 1.3883 | 3.5153 |
| 7 | 0.2511 | 1.3866 | 3.3262 |
| 8 | 0.1433 | 1.2951 | 0.5331 |
| 9 | 0.1398 | 1.2942 | 0.4681 |
| 10 | 0.2474 | 1.4240 | 3.6165 |
| 11 | 0.2585 | 1.4172 | 3.3224 |
| 12 | 0.2574 | 1.4183 | 3.5987 |
| 13 | 0.2537 | 1.4154 | 3.3000 |
| 14 | 0.2585 | 1.4154 | 3.3170 |
| 15 | 0.2473 | 1.4153 | 3.3956 |
| 16 | 0.2545 | 1.4697 | 3.6187 |
| 17 | 0.2469 | 1.4244 | 3.7862 |
| 18 | 0.2441 | 1.4189 | 3.5125 |
| 19 | 0.2611 | 1.4192 | 3.8231 |
| 20 | 0.2597 | 1.4162 | 3.7262 |
| 21 | 0.2512 | 1.4138 | 3.4330 |
| 22 | 0.2573 | 1.4150 | 3.7397 |
| SAIFI_p | 0.2513 | | |
| SAIFI | 1.4111 | | |
| SAIDI | 3.6041 | | |

ตารางที่ ก.9 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.8 p.u. สำหรับการผิดปกติแบบ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2464 | 1.6509 | 3.3831 |
| 2 | 0.2623 | 1.6531 | 3.8324 |
| 3 | 0.2539 | 1.6529 | 3.9459 |
| 4 | 0.2475 | 1.6517 | 3.5614 |
| 5 | 0.2612 | 1.6507 | 3.5189 |
| 6 | 0.2556 | 1.6509 | 3.5026 |
| 7 | 0.2619 | 1.6515 | 3.5584 |
| 8 | 0.1425 | 1.6365 | 0.5153 |
| 9 | 0.1446 | 1.6365 | 0.4936 |
| 10 | 0.2448 | 1.6898 | 3.5278 |
| 11 | 0.2532 | 1.6888 | 3.5843 |
| 12 | 0.2607 | 1.6895 | 3.7306 |
| 13 | 0.2547 | 1.6893 | 3.4672 |
| 14 | 0.2589 | 1.6898 | 3.6431 |
| 15 | 0.2452 | 1.6899 | 3.6044 |
| 16 | 0.2596 | 1.7001 | 3.4702 |
| 17 | 0.2499 | 1.6543 | 3.7261 |
| 18 | 0.2493 | 1.6536 | 3.5305 |
| 19 | 0.2630 | 1.6537 | 3.6914 |
| 20 | 0.2622 | 1.6533 | 3.6472 |
| 21 | 0.2578 | 1.6522 | 3.3370 |
| 22 | 0.2618 | 1.6523 | 3.4148 |
| SAIFI_p | 0.2537 | | |
| SAIFI | 1.6653 | | |
| SAIDI | 3.6535 | | |

ตารางที่ ก.10 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทนต่อแรงดันตกได้สูงสุดที่ระดับ 0.9 p.u. สำหรับการผิดปกติแบบ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2486 | 1.6679 | 3.6099 |
| 2 | 0.2607 | 1.6677 | 3.5214 |
| 3 | 0.2623 | 1.6670 | 3.6077 |
| 4 | 0.2475 | 1.6675 | 3.5846 |
| 5 | 0.2585 | 1.6667 | 3.5134 |
| 6 | 0.2541 | 1.6672 | 3.5842 |
| 7 | 0.2618 | 1.6672 | 3.5568 |
| 8 | 0.1398 | 1.6534 | 0.5132 |
| 9 | 0.1419 | 1.6534 | 0.4738 |
| 10 | 0.2514 | 1.6996 | 3.8634 |
| 11 | 0.2596 | 1.6989 | 3.7102 |
| 12 | 0.2603 | 1.6991 | 3.7968 |
| 13 | 0.2584 | 1.6986 | 3.6520 |
| 14 | 0.2620 | 1.6991 | 3.7689 |
| 15 | 0.2469 | 1.6990 | 3.6876 |
| 16 | 0.2558 | 1.7110 | 3.3221 |
| 17 | 0.2481 | 1.6715 | 3.5957 |
| 18 | 0.2456 | 1.6718 | 3.6310 |
| 19 | 0.2649 | 1.6722 | 3.8398 |
| 20 | 0.2605 | 1.6708 | 3.4945 |
| 21 | 0.2587 | 1.6722 | 3.7492 |
| 22 | 0.2639 | 1.6722 | 3.8193 |
| SAIFI_p | 0.2557 | | |
| SAIFI | 1.6796 | | |
| SAIDI | 3.6796 | | |

ก.2 ผลการทดสอบสำหรับระบบทดสอบบัส 2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU 121C และเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานที่เวลาคงที่

ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาถึงการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทางของฟีดเดอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้อยู่โดยทั่วไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะให้ทำงานที่เวลา 1,2 และ 3 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 3 เฟสและตั้งเวลาการทำงานไว้ที่ 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่องแบบ 1 เฟสลงกราวด์ รวมไปถึงปรับตั้งการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่มีลักษณะการทำงานเป็นไปดังรูปที่ 5.7 โดยจะทำการปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่า 0.1,0.2,0.4,0.7และ1.0 และปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ไว้ที่ 0.9 p.u.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.11 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.1และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2433 | 1.3266 | 3.5043 |
| 2 | 0.2562 | 1.3271 | 3.6602 |
| 3 | 0.2565 | 1.3221 | 3.6795 |
| 4 | 0.2417 | 1.3229 | 3.7016 |
| 5 | 0.2553 | 1.3187 | 3.4283 |
| 6 | 0.2498 | 1.3202 | 3.7444 |
| 7 | 0.2528 | 1.3173 | 3.3494 |
| 8 | 0.1422 | 1.1943 | 0.5232 |
| 9 | 0.1445 | 1.1934 | 0.4964 |
| 10 | 0.2419 | 1.3633 | 3.4293 |
| 11 | 0.2568 | 1.3584 | 3.4796 |
| 12 | 0.2573 | 1.3591 | 3.5953 |
| 13 | 0.2573 | 1.3579 | 3.5896 |
| 14 | 0.2572 | 1.3571 | 3.4985 |
| 15 | 0.2434 | 1.3569 | 3.4898 |
| 16 | 0.2581 | 1.3990 | 3.7120 |
| 17 | 0.2467 | 1.3503 | 3.5019 |
| 18 | 0.2469 | 1.3460 | 3.4373 |
| 19 | 0.2578 | 1.3450 | 3.3992 |
| 20 | 0.2604 | 1.3438 | 3.6096 |
| 21 | 0.2570 | 1.3424 | 3.5818 |
| 22 | 0.2594 | 1.3418 | 3.5039 |
| SAIFI_p | 0.2514 | | |
| SAIFI | 1.3440 | | |
| SAIDI | 3.5203 | | |

ตาราง ก.12 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.2และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2465 | 1.0120 | 3.5824 |
| 2 | 0.2548 | 1.0106 | 3.5036 |
| 3 | 0.2557 | 1.0278 | 3.7165 |
| 4 | 0.2442 | 1.0258 | 3.3451 |
| 5 | 0.2599 | 1.0259 | 3.9340 |
| 6 | 0.2522 | 1.0241 | 3.4684 |
| 7 | 0.2619 | 1.0234 | 3.5536 |
| 8 | 0.1420 | 0.7719 | 0.5119 |
| 9 | 0.1434 | 0.7712 | 0.4933 |
| 10 | 0.2472 | 1.0660 | 3.7228 |
| 11 | 0.2601 | 1.0709 | 3.8509 |
| 12 | 0.2610 | 1.0699 | 3.7781 |
| 13 | 0.2557 | 1.0667 | 3.5178 |
| 14 | 0.2579 | 1.0678 | 3.7141 |
| 15 | 0.2467 | 1.0680 | 3.7834 |
| 16 | 0.2599 | 1.0416 | 3.3621 |
| 17 | 0.2512 | 0.9957 | 3.7080 |
| 18 | 0.2495 | 1.0220 | 3.3973 |
| 19 | 0.2636 | 1.0223 | 3.4937 |
| 20 | 0.2604 | 1.0185 | 3.3845 |
| 21 | 0.2601 | 1.0176 | 3.4053 |
| 22 | 0.2622 | 1.0192 | 3.6701 |
| SAIFI_p | 0.2543 | | |
| SAIFI | 1.0330 | | |
| SAIDI | 3.6348 | | |

ตาราง ก.13 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.4และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2457 | 0.6599 | 3.4451 |
| 2 | 0.2603 | 0.6622 | 4.0020 |
| 3 | 0.2561 | 0.7868 | 3.4862 |
| 4 | 0.2452 | 0.7867 | 3.4412 |
| 5 | 0.2591 | 0.7927 | 3.8081 |
| 6 | 0.2522 | 0.7905 | 3.5184 |
| 7 | 0.2556 | 0.7902 | 3.4552 |
| 8 | 0.1434 | 0.4798 | 0.5314 |
| 9 | 0.1436 | 0.4796 | 0.4875 |
| 10 | 0.2499 | 0.6682 | 3.6548 |
| 11 | 0.2596 | 0.7902 | 3.9323 |
| 12 | 0.2627 | 0.7877 | 3.4752 |
| 13 | 0.2566 | 0.7845 | 3.2321 |
| 14 | 0.2619 | 0.7875 | 3.7291 |
| 15 | 0.2452 | 0.7859 | 3.6017 |
| 16 | 0.2575 | 0.6675 | 3.5628 |
| 17 | 0.2467 | 0.6198 | 3.6392 |
| 18 | 0.2467 | 0.7534 | 3.7204 |
| 19 | 0.2588 | 0.7528 | 3.6143 |
| 20 | 0.2593 | 0.7560 | 3.5834 |
| 21 | 0.2575 | 0.7567 | 3.7147 |
| 22 | 0.2581 | 0.7569 | 3.8478 |
| SAIFI_p | 0.2539 | | |
| SAIFI | 0.7208 | | |
| SAIDI | 3.6591 | | |

ตาราง ก.14 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.7และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2435 | 0.4477 | 3.4300 |
| 2 | 0.2600 | 0.4576 | 3.6804 |
| 3 | 0.2554 | 0.5682 | 3.6654 |
| 4 | 0.2424 | 0.5663 | 3.1020 |
| 5 | 0.2556 | 0.6605 | 3.3756 |
| 6 | 0.2534 | 0.6614 | 3.5624 |
| 7 | 0.2588 | 0.6625 | 3.5953 |
| 8 | 0.1412 | 0.3038 | 0.5218 |
| 9 | 0.1415 | 0.3306 | 0.4732 |
| 10 | 0.2517 | 0.4017 | 3.3266 |
| 11 | 0.2631 | 0.5575 | 3.5906 |
| 12 | 0.2639 | 0.5565 | 3.4802 |
| 13 | 0.2581 | 0.6232 | 3.9338 |
| 14 | 0.2572 | 0.6219 | 3.7195 |
| 15 | 0.2522 | 0.6201 | 3.4785 |
| 16 | 0.2626 | 0.4589 | 3.7717 |
| 17 | 0.2506 | 0.4089 | 3.7199 |
| 18 | 0.2510 | 0.5073 | 3.6560 |
| 19 | 0.2635 | 0.5056 | 3.4667 |
| 20 | 0.2639 | 0.6259 | 3.7661 |
| 21 | 0.2612 | 0.6241 | 3.6125 |
| 22 | 0.2626 | 0.6235 | 3.4104 |
| SAIFI_p | 0.2558 | | |
| SAIFI | 0.4933 | | |
| SAIDI | 3.5539 | | |

ตาราง ก.15 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 1.0 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2491 | 0.3510 | 3.9214 |
| 2 | 0.2615 | 0.3628 | 3.7435 |
| 3 | 0.2606 | 0.4286 | 3.6691 |
| 4 | 0.2497 | 0.4170 | 3.5577 |
| 5 | 0.2548 | 0.5273 | 3.5658 |
| 6 | 0.2572 | 0.5229 | 3.3669 |
| 7 | 0.2629 | 0.5522 | 3.5155 |
| 8 | 0.1455 | 0.2338 | 0.5340 |
| 9 | 0.1403 | 0.2658 | 0.4962 |
| 10 | 0.2467 | 0.3241 | 3.6251 |
| 11 | 0.2575 | 0.4140 | 3.5593 |
| 12 | 0.2563 | 0.4150 | 3.2431 |
| 13 | 0.2565 | 0.4829 | 3.4353 |
| 14 | 0.2575 | 0.4864 | 3.4397 |
| 15 | 0.2469 | 0.5062 | 3.5901 |
| 16 | 0.2541 | 0.3598 | 3.8735 |
| 17 | 0.2428 | 0.3213 | 3.4015 |
| 18 | 0.2422 | 0.3879 | 3.4453 |
| 19 | 0.2552 | 0.3994 | 3.5905 |
| 20 | 0.2591 | 0.4756 | 3.8167 |
| 21 | 0.2550 | 0.5287 | 3.5085 |
| 22 | 0.2555 | 0.5287 | 3.5749 |
| SAIFI_p | 0.2525 | | |
| SAIFI | 0.3814 | | |
| SAIDI | 3.5778 | | |

ตาราง ก.16 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu. ค่า Time multiplier
 มีค่า 0.1 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 2 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2479 | 1.6000 | 3.8958 |
| 2 | 0.2589 | 1.5986 | 3.6110 |
| 3 | 0.2645 | 1.5968 | 3.7987 |
| 4 | 0.2487 | 1.5973 | 3.7194 |
| 5 | 0.2617 | 1.5952 | 3.6836 |
| 6 | 0.2554 | 1.5939 | 3.3937 |
| 7 | 0.2612 | 1.5956 | 3.9032 |
| 8 | 0.1455 | 1.5693 | 0.5396 |
| 9 | 0.1412 | 1.5686 | 0.4788 |
| 10 | 0.2467 | 1.6260 | 3.5975 |
| 11 | 0.2608 | 1.6237 | 3.8169 |
| 12 | 0.2618 | 1.6233 | 3.7074 |
| 13 | 0.2592 | 1.6229 | 3.6677 |
| 14 | 0.2623 | 1.6237 | 3.9465 |
| 15 | 0.2447 | 1.6202 | 3.2350 |
| 16 | 0.2599 | 1.6774 | 3.6878 |
| 17 | 0.2511 | 1.6297 | 3.5498 |
| 18 | 0.2495 | 1.6286 | 3.6132 |
| 19 | 0.2601 | 1.6283 | 3.5804 |
| 20 | 0.2614 | 1.6271 | 3.4642 |
| 21 | 0.2585 | 1.6272 | 3.6129 |
| 22 | 0.2638 | 1.6265 | 3.4902 |
| SAIFI_p | 0.2556 | | |
| SAIFI | 1.6171 | | |
| SAIDI | 3.6801 | | |

ตาราง ก.17 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.2 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 2 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2505 | 1.3444 | 3.6457 |
| 2 | 0.2620 | 1.3451 | 3.8599 |
| 3 | 0.2612 | 1.3404 | 3.6922 |
| 4 | 0.2483 | 1.3402 | 3.6822 |
| 5 | 0.2583 | 1.3357 | 3.3405 |
| 6 | 0.2549 | 1.3373 | 3.5972 |
| 7 | 0.2605 | 1.3372 | 3.7389 |
| 8 | 0.1389 | 1.2180 | 0.5062 |
| 9 | 0.1405 | 1.2165 | 0.4812 |
| 10 | 0.2449 | 1.3808 | 3.3579 |
| 11 | 0.2580 | 1.3787 | 3.7430 |
| 12 | 0.2608 | 1.3775 | 3.6309 |
| 13 | 0.2565 | 1.3765 | 3.6786 |
| 14 | 0.2603 | 1.3772 | 3.7530 |
| 15 | 0.2489 | 1.3760 | 3.5377 |
| 16 | 0.2529 | 1.4196 | 3.4902 |
| 17 | 0.2462 | 1.3742 | 3.8458 |
| 18 | 0.2433 | 1.3674 | 3.5152 |
| 19 | 0.2583 | 1.3681 | 3.8094 |
| 20 | 0.2573 | 1.3643 | 3.6138 |
| 21 | 0.2524 | 1.3631 | 3.6281 |
| 22 | 0.2577 | 1.3625 | 3.5944 |
| SAIFI_p | 0.2539 | | |
| SAIFI | 1.3638 | | |
| SAIDI | 3.6715 | | |

ตาราง ก.18 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.4 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 2 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2385 | 1.0143 | 3.4130 |
| 2 | 0.2549 | 1.0147 | 3.5598 |
| 3 | 0.2540 | 1.0301 | 3.6618 |
| 4 | 0.2403 | 1.0303 | 3.6035 |
| 5 | 0.2534 | 1.0279 | 3.7433 |
| 6 | 0.2519 | 1.0289 | 3.9229 |
| 7 | 0.2537 | 1.0264 | 3.4653 |
| 8 | 0.1404 | 0.7870 | 0.5119 |
| 9 | 0.1412 | 0.7861 | 0.4862 |
| 10 | 0.2495 | 1.0791 | 3.6157 |
| 11 | 0.2596 | 1.0810 | 3.7322 |
| 12 | 0.2618 | 1.0818 | 3.7588 |
| 13 | 0.2591 | 1.0782 | 3.5665 |
| 14 | 0.2633 | 1.0794 | 3.7044 |
| 15 | 0.2494 | 1.0787 | 3.6744 |
| 16 | 0.2569 | 1.0604 | 3.4369 |
| 17 | 0.2476 | 1.0122 | 3.6355 |
| 18 | 0.2470 | 1.0357 | 3.6614 |
| 19 | 0.2582 | 1.0332 | 3.2571 |
| 20 | 0.2589 | 1.0327 | 3.6441 |
| 21 | 0.2544 | 1.0297 | 3.3435 |
| 22 | 0.2599 | 1.0320 | 3.7890 |
| SAIFI_p | 0.2522 | | |
| SAIFI | 1.0423 | | |
| SAIDI | 3.5872 | | |

ตาราง ก.19 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.7 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 2 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2490 | 0.7261 | 3.7667 |
| 2 | 0.2613 | 0.7254 | 3.7368 |
| 3 | 0.2617 | 0.8323 | 3.7898 |
| 4 | 0.2480 | 0.8321 | 3.7450 |
| 5 | 0.2605 | 0.8319 | 4.0702 |
| 6 | 0.2588 | 0.8306 | 3.8634 |
| 7 | 0.2580 | 0.8296 | 3.5897 |
| 8 | 0.1390 | 0.5157 | 0.5114 |
| 9 | 0.1397 | 0.5154 | 0.4748 |
| 10 | 0.2471 | 0.7486 | 3.3320 |
| 11 | 0.2582 | 0.8324 | 3.5542 |
| 12 | 0.2585 | 0.8316 | 3.5221 |
| 13 | 0.2564 | 0.8317 | 3.6898 |
| 14 | 0.2618 | 0.8314 | 3.7293 |
| 15 | 0.2482 | 0.8295 | 3.3811 |
| 16 | 0.2578 | 0.7307 | 3.8735 |
| 17 | 0.2429 | 0.6792 | 3.4176 |
| 18 | 0.2458 | 0.8088 | 3.5156 |
| 19 | 0.2546 | 0.8086 | 3.4402 |
| 20 | 0.2577 | 0.8079 | 3.6766 |
| 21 | 0.2561 | 0.8070 | 3.4776 |
| 22 | 0.2585 | 0.8075 | 3.6517 |
| SAIFI_p | 0.2533 | | |
| SAIFI | 0.7775 | | |
| SAIDI | 3.5659 | | |

ตาราง ก.20 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 1.0 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 2 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2433 | 0.5703 | 3.5740 |
| 2 | 0.2572 | 0.5718 | 3.9341 |
| 3 | 0.2582 | 0.7268 | 3.7714 |
| 4 | 0.2410 | 0.7263 | 3.6019 |
| 5 | 0.2548 | 0.7479 | 3.6426 |
| 6 | 0.2536 | 0.7478 | 3.4353 |
| 7 | 0.2575 | 0.7485 | 3.7210 |
| 8 | 0.1456 | 0.4263 | 0.5388 |
| 9 | 0.1463 | 0.4288 | 0.5018 |
| 10 | 0.2417 | 0.5477 | 3.4867 |
| 11 | 0.2518 | 0.7082 | 3.6292 |
| 12 | 0.2552 | 0.7075 | 3.5959 |
| 13 | 0.2485 | 0.7138 | 3.3299 |
| 14 | 0.2573 | 0.7144 | 3.4540 |
| 15 | 0.2457 | 0.7144 | 3.6131 |
| 16 | 0.2623 | 0.5896 | 3.7581 |
| 17 | 0.2507 | 0.5393 | 3.4628 |
| 18 | 0.2511 | 0.6739 | 3.6363 |
| 19 | 0.2636 | 0.6740 | 3.6343 |
| 20 | 0.2633 | 0.7102 | 3.5110 |
| 21 | 0.2626 | 0.7101 | 3.6295 |
| 22 | 0.2637 | 0.7108 | 3.6777 |
| SAIFI_p | 0.2525 | | |
| SAIFI | 0.6370 | | |
| SAIDI | 3.6337 | | |

ตาราง ก.21 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.1 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 3 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2460 | 1.6346 | 3.5553 |
| 2 | 0.2616 | 1.6358 | 3.8163 |
| 3 | 0.2581 | 1.6328 | 3.5385 |
| 4 | 0.2462 | 1.6324 | 3.4660 |
| 5 | 0.2605 | 1.6324 | 3.7121 |
| 6 | 0.2567 | 1.6324 | 3.6888 |
| 7 | 0.2628 | 1.6323 | 3.6497 |
| 8 | 0.1449 | 1.6222 | 0.5333 |
| 9 | 0.1413 | 1.6219 | 0.4733 |
| 10 | 0.2464 | 1.6697 | 3.9098 |
| 11 | 0.2538 | 1.6652 | 3.5237 |
| 12 | 0.2562 | 1.6659 | 3.7254 |
| 13 | 0.2548 | 1.6663 | 3.8083 |
| 14 | 0.2545 | 1.6648 | 3.5651 |
| 15 | 0.2445 | 1.6647 | 3.5584 |
| 16 | 0.2531 | 1.6890 | 3.6173 |
| 17 | 0.2434 | 1.6451 | 3.7236 |
| 18 | 0.2444 | 1.6436 | 3.5594 |
| 19 | 0.2568 | 1.6421 | 3.4852 |
| 20 | 0.2568 | 1.6419 | 3.4621 |
| 21 | 0.2545 | 1.6431 | 3.7230 |
| 22 | 0.2583 | 1.6418 | 3.5327 |
| SAIFI_p | 0.2519 | | |
| SAIFI | 1.6483 | | |
| SAIDI | 3.6447 | | |

ตาราง ก.22 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.2 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 3 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2478 | 1.4997 | 3.5096 |
| 2 | 0.2557 | 1.5001 | 3.6072 |
| 3 | 0.2615 | 1.4969 | 3.6436 |
| 4 | 0.2463 | 1.4975 | 3.5978 |
| 5 | 0.2606 | 1.4953 | 3.8472 |
| 6 | 0.2564 | 1.4936 | 3.4461 |
| 7 | 0.2605 | 1.4936 | 3.5715 |
| 8 | 0.1439 | 1.4373 | 0.5303 |
| 9 | 0.1436 | 1.4365 | 0.4832 |
| 10 | 0.2487 | 1.5249 | 3.5403 |
| 11 | 0.2569 | 1.5213 | 3.3143 |
| 12 | 0.2602 | 1.5225 | 3.7321 |
| 13 | 0.2567 | 1.5198 | 3.3999 |
| 14 | 0.2587 | 1.5196 | 3.4159 |
| 15 | 0.2488 | 1.5209 | 3.7529 |
| 16 | 0.2536 | 1.5737 | 3.6662 |
| 17 | 0.2451 | 1.5271 | 3.6149 |
| 18 | 0.2448 | 1.5241 | 3.5873 |
| 19 | 0.2581 | 1.5231 | 3.5733 |
| 20 | 0.2547 | 1.5217 | 3.6119 |
| 21 | 0.2551 | 1.5211 | 3.6448 |
| 22 | 0.2565 | 1.5207 | 3.6692 |
| SAIFI_p | 0.2532 | | |
| SAIFI | 1.5154 | | |
| SAIDI | 3.5662 | | |

ตาราง ก.23 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.4 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 3 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2463 | 1.2102 | 3.5063 |
| 2 | 0.2625 | 1.2102 | 3.8379 |
| 3 | 0.2584 | 1.2045 | 3.5461 |
| 4 | 0.2476 | 1.2048 | 3.5461 |
| 5 | 0.2612 | 1.2016 | 3.6944 |
| 6 | 0.2576 | 1.2019 | 3.6953 |
| 7 | 0.2632 | 1.2007 | 3.5769 |
| 8 | 0.1450 | 1.0203 | 0.5346 |
| 9 | 0.1409 | 1.0193 | 0.4708 |
| 10 | 0.2472 | 1.2474 | 3.9298 |
| 11 | 0.2548 | 1.2396 | 3.5269 |
| 12 | 0.2568 | 1.2402 | 3.7099 |
| 13 | 0.2557 | 1.2395 | 3.8363 |
| 14 | 0.2553 | 1.2381 | 3.6126 |
| 15 | 0.2450 | 1.2378 | 3.5634 |
| 16 | 0.2514 | 1.2682 | 3.5453 |
| 17 | 0.2415 | 1.2236 | 3.6705 |
| 18 | 0.2432 | 1.2177 | 3.5247 |
| 19 | 0.2559 | 1.2161 | 3.5035 |
| 20 | 0.2549 | 1.2130 | 3.4962 |
| 21 | 0.2529 | 1.2122 | 3.7539 |
| 22 | 0.2564 | 1.2108 | 3.5633 |
| SAIFI_p | 0.2519 | | |
| SAIFI | 1.2230 | | |
| SAIDI | 3.6357 | | |

ตาราง ก.24 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu. ค่า Time multiplier
 มีค่า 0.7 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 3 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2415 | 0.9416 | 3.6321 |
| 2 | 0.2558 | 0.9416 | 3.8190 |
| 3 | 0.2557 | 0.9701 | 3.8840 |
| 4 | 0.2413 | 0.9697 | 3.7110 |
| 5 | 0.2516 | 0.9659 | 3.5947 |
| 6 | 0.2514 | 0.9655 | 3.4945 |
| 7 | 0.2558 | 0.9663 | 3.7257 |
| 8 | 0.1427 | 0.7082 | 0.5226 |
| 9 | 0.1414 | 0.7072 | 0.4796 |
| 10 | 0.2523 | 0.9945 | 3.5402 |
| 11 | 0.2605 | 1.0057 | 3.8177 |
| 12 | 0.2621 | 1.0042 | 3.5425 |
| 13 | 0.2581 | 1.0018 | 3.4519 |
| 14 | 0.2662 | 1.0025 | 3.7419 |
| 15 | 0.2501 | 1.0014 | 3.4890 |
| 16 | 0.2565 | 0.9720 | 3.6701 |
| 17 | 0.2485 | 0.9245 | 3.5640 |
| 18 | 0.2465 | 0.9692 | 3.7737 |
| 19 | 0.2594 | 0.9690 | 3.6751 |
| 20 | 0.2602 | 0.9675 | 3.9017 |
| 21 | 0.2583 | 0.9646 | 3.6337 |
| 22 | 0.2601 | 0.9651 | 3.7674 |
| SAIFI_p | 0.2535 | | |
| SAIFI | 0.9389 | | |
| SAIDI | 3.6903 | | |

ตาราง ก.25 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu. ค่า Time multiplier
 มีค่า 1.0 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 3 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2475 | 0.7527 | 3.5473 |
| 2 | 0.2601 | 0.7524 | 3.5354 |
| 3 | 0.2592 | 0.8519 | 3.4793 |
| 4 | 0.2473 | 0.8522 | 3.5357 |
| 5 | 0.2599 | 0.8500 | 3.4511 |
| 6 | 0.2595 | 0.8512 | 3.5349 |
| 7 | 0.2600 | 0.8512 | 3.6598 |
| 8 | 0.1435 | 0.5403 | 0.5273 |
| 9 | 0.1440 | 0.5400 | 0.4881 |
| 10 | 0.2413 | 0.7790 | 3.6512 |
| 11 | 0.2510 | 0.8548 | 3.6602 |
| 12 | 0.2519 | 0.8536 | 3.3796 |
| 13 | 0.2514 | 0.8532 | 3.5474 |
| 14 | 0.2540 | 0.8524 | 3.5751 |
| 15 | 0.2403 | 0.8527 | 3.4989 |
| 16 | 0.2588 | 0.7646 | 3.7177 |
| 17 | 0.2480 | 0.7161 | 3.7370 |
| 18 | 0.2513 | 0.8352 | 3.8069 |
| 19 | 0.2612 | 0.8342 | 3.6931 |
| 20 | 0.2628 | 0.8324 | 3.6264 |
| 21 | 0.2576 | 0.8302 | 3.3149 |
| 22 | 0.2586 | 0.8313 | 3.4645 |
| SAIFI_p | 0.2523 | | |
| SAIFI | 0.8037 | | |
| SAIDI | 3.6046 | | |

ตาราง ก.26 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu. ค่า Time multiplier
 มีค่า 0.1 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2410 | 1.3338 | 3.2639 |
| 2 | 0.2567 | 1.3365 | 3.7751 |
| 3 | 0.2549 | 1.3299 | 3.3494 |
| 4 | 0.2450 | 1.3320 | 3.7188 |
| 5 | 0.2571 | 1.3288 | 3.6559 |
| 6 | 0.2528 | 1.3282 | 3.5306 |
| 7 | 0.2575 | 1.3280 | 3.5953 |
| 8 | 0.1415 | 1.1975 | 0.5175 |
| 9 | 0.1414 | 1.1963 | 0.4788 |
| 10 | 0.2455 | 1.3671 | 3.4175 |
| 11 | 0.2556 | 1.3625 | 3.5894 |
| 12 | 0.2586 | 1.3634 | 3.6718 |
| 13 | 0.2553 | 1.3610 | 3.4662 |
| 14 | 0.2592 | 1.3613 | 3.6589 |
| 15 | 0.2453 | 1.3620 | 3.7097 |
| 16 | 0.2563 | 1.4017 | 3.6252 |
| 17 | 0.2467 | 1.3557 | 3.6803 |
| 18 | 0.2470 | 1.3512 | 3.5487 |
| 19 | 0.2610 | 1.3508 | 3.6606 |
| 20 | 0.2596 | 1.3491 | 3.7465 |
| 21 | 0.2597 | 1.3463 | 3.5478 |
| 22 | 0.2617 | 1.3477 | 3.7304 |
| SAIFI_p | 0.2518 | | |
| SAIFI | 1.3499 | | |
| SAIDI | 3.5482 | | |

ตาราง ก.27 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu. ค่า Time multiplier
 มีค่า 0.2 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2463 | 1.0048 | 3.5243 |
| 2 | 0.2598 | 1.0045 | 3.5390 |
| 3 | 0.2586 | 1.0234 | 3.7212 |
| 4 | 0.2479 | 1.0220 | 3.4707 |
| 5 | 0.2604 | 1.0210 | 3.7741 |
| 6 | 0.2587 | 1.0206 | 3.6410 |
| 7 | 0.2611 | 1.0188 | 3.3531 |
| 8 | 0.1423 | 0.7682 | 0.5251 |
| 9 | 0.1396 | 0.7672 | 0.4734 |
| 10 | 0.2454 | 1.0549 | 3.2963 |
| 11 | 0.2596 | 1.0602 | 3.8507 |
| 12 | 0.2611 | 1.0600 | 3.6540 |
| 13 | 0.2532 | 1.0564 | 3.3710 |
| 14 | 0.2613 | 1.0595 | 3.8969 |
| 15 | 0.2470 | 1.0585 | 3.7396 |
| 16 | 0.2550 | 1.0487 | 3.6395 |
| 17 | 0.2483 | 1.0032 | 3.7617 |
| 18 | 0.2478 | 1.0296 | 3.6087 |
| 19 | 0.2597 | 1.0292 | 3.5737 |
| 20 | 0.2599 | 1.0271 | 3.6721 |
| 21 | 0.2569 | 1.0257 | 3.5904 |
| 22 | 0.2604 | 1.0261 | 3.5995 |
| SAIFI_p | 0.2540 | | |
| SAIFI | 1.0298 | | |
| SAIDI | 3.6099 | | |

ตาราง ก.28 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.4 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2476 | 0.6604 | 3.6192 |
| 2 | 0.2577 | 0.6593 | 3.5346 |
| 3 | 0.2613 | 0.7907 | 3.4660 |
| 4 | 0.2442 | 0.7917 | 3.4956 |
| 5 | 0.2560 | 0.7960 | 3.5550 |
| 6 | 0.2561 | 0.7965 | 3.6863 |
| 7 | 0.2601 | 0.7965 | 3.6942 |
| 8 | 0.1440 | 0.4721 | 0.5316 |
| 9 | 0.1434 | 0.4719 | 0.4814 |
| 10 | 0.2424 | 0.6511 | 3.5419 |
| 11 | 0.2534 | 0.7718 | 3.5863 |
| 12 | 0.2549 | 0.7713 | 3.5530 |
| 13 | 0.2484 | 0.7682 | 3.3262 |
| 14 | 0.2575 | 0.7726 | 4.0905 |
| 15 | 0.2406 | 0.7683 | 3.3862 |
| 16 | 0.2587 | 0.6644 | 3.6078 |
| 17 | 0.2485 | 0.6156 | 3.3892 |
| 18 | 0.2490 | 0.7532 | 3.3925 |
| 19 | 0.2619 | 0.7543 | 3.6803 |
| 20 | 0.2608 | 0.7565 | 3.5369 |
| 21 | 0.2589 | 0.7571 | 3.6252 |
| 22 | 0.2614 | 0.7570 | 3.6119 |
| SAIFI_p | 0.2529 | | |
| SAIFI | 0.7150 | | |
| SAIDI | 3.5286 | | |

ตาราง ก.29 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.7 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2486 | 0.4474 | 3.4399 |
| 2 | 0.2596 | 0.4567 | 3.6769 |
| 3 | 0.2599 | 0.5679 | 3.6570 |
| 4 | 0.2475 | 0.5686 | 3.6113 |
| 5 | 0.2603 | 0.6586 | 3.6293 |
| 6 | 0.2564 | 0.6596 | 3.7858 |
| 7 | 0.2581 | 0.6593 | 3.5745 |
| 8 | 0.1396 | 0.3039 | 0.5075 |
| 9 | 0.1410 | 0.3303 | 0.4786 |
| 10 | 0.2486 | 0.3975 | 3.4565 |
| 11 | 0.2564 | 0.5448 | 3.4796 |
| 12 | 0.2600 | 0.5457 | 3.6423 |
| 13 | 0.2599 | 0.6108 | 3.7774 |
| 14 | 0.2587 | 0.6093 | 3.4858 |
| 15 | 0.2482 | 0.6093 | 3.5314 |
| 16 | 0.2587 | 0.4560 | 3.8206 |
| 17 | 0.2513 | 0.4102 | 3.8474 |
| 18 | 0.2522 | 0.5089 | 3.4062 |
| 19 | 0.2642 | 0.5106 | 3.7303 |
| 20 | 0.2635 | 0.6242 | 3.5073 |
| 21 | 0.2570 | 0.6235 | 3.4645 |
| 22 | 0.2632 | 0.6244 | 3.6872 |
| SAIFI_p | 0.2555 | | |
| SAIFI | 0.4908 | | |
| SAIDI | 3.5906 | | |

ตาราง ก.30 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 1.0 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2445 | 0.3486 | 3.3766 |
| 2 | 0.2571 | 0.3617 | 3.7697 |
| 3 | 0.2568 | 0.4276 | 3.7553 |
| 4 | 0.2441 | 0.4146 | 3.5025 |
| 5 | 0.2578 | 0.5196 | 3.7324 |
| 6 | 0.2540 | 0.5180 | 3.8140 |
| 7 | 0.2598 | 0.5484 | 3.7809 |
| 8 | 0.1441 | 0.2333 | 0.5332 |
| 9 | 0.1419 | 0.2617 | 0.4724 |
| 10 | 0.2518 | 0.3287 | 3.8185 |
| 11 | 0.2577 | 0.4185 | 3.7011 |
| 12 | 0.2609 | 0.4203 | 3.5975 |
| 13 | 0.2590 | 0.4891 | 3.6098 |
| 14 | 0.2635 | 0.4926 | 3.6368 |
| 15 | 0.2521 | 0.5144 | 3.7143 |
| 16 | 0.2564 | 0.3638 | 3.4641 |
| 17 | 0.2452 | 0.3250 | 3.4148 |
| 18 | 0.2445 | 0.3902 | 3.5534 |
| 19 | 0.2586 | 0.4027 | 3.7348 |
| 20 | 0.2615 | 0.4779 | 3.8468 |
| 21 | 0.2559 | 0.5262 | 3.3743 |
| 22 | 0.2599 | 0.5277 | 3.7722 |
| SAIFI_p | 0.2530 | | |
| SAIFI | 0.3835 | | |
| SAIDI | 3.6356 | | |

จากข้างต้นเราทำการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกิน โดยมีค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. ที่ค่า Time multiplier 0.1 0.2 0.4 0.7 และ 1.0 โดยค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 2 และ 3 วินาทีสำหรับการผัดพ่วงแบบ 3 เฟส และที่ 1 วินาทีสำหรับการผัดพ่วงแบบ 1 เฟสลงกราวด์ เพื่อดูค่าดัชนีความเชื่อถือได้ สิ่งที่จะทำการจำลองเหตุการณ์ถัดไปคือทำการปรับเปลี่ยนค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่า 0.90 0.85 0.80 0.75 และ 0.70 p.u. ตามลำดับโดยตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่า 0.1 สำหรับทุกกรณี ส่วนค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีผลที่ได้มีดังต่อไปนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.31 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 pu.ค่าTime multiplier
 มีค่า 0.1 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2433 | 1.3266 | 3.5043 |
| 2 | 0.2562 | 1.3271 | 3.6602 |
| 3 | 0.2565 | 1.3221 | 3.6795 |
| 4 | 0.2417 | 1.3229 | 3.7016 |
| 5 | 0.2553 | 1.3187 | 3.4283 |
| 6 | 0.2498 | 1.3202 | 3.7444 |
| 7 | 0.2528 | 1.3173 | 3.3494 |
| 8 | 0.1422 | 1.1943 | 0.5232 |
| 9 | 0.1445 | 1.1934 | 0.4964 |
| 10 | 0.2419 | 1.3633 | 3.4293 |
| 11 | 0.2568 | 1.3584 | 3.4796 |
| 12 | 0.2573 | 1.3591 | 3.5953 |
| 13 | 0.2573 | 1.3579 | 3.5896 |
| 14 | 0.2572 | 1.3571 | 3.4985 |
| 15 | 0.2434 | 1.3569 | 3.4898 |
| 16 | 0.2581 | 1.3990 | 3.7120 |
| 17 | 0.2467 | 1.3503 | 3.5019 |
| 18 | 0.2469 | 1.3460 | 3.4373 |
| 19 | 0.2578 | 1.3450 | 3.3992 |
| 20 | 0.2604 | 1.3438 | 3.6096 |
| 21 | 0.2570 | 1.3424 | 3.5818 |
| 22 | 0.2594 | 1.3418 | 3.5039 |
| SAIFI_p | 0.2514 | | |
| SAIFI | 1.3440 | | |
| SAIDI | 3.5203 | | |

ตาราง ก.32 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.85 pu. ค่า Timemultiplier
 มีค่า 0.1 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2421 | 1.1628 | 3.6371 |
| 2 | 0.2549 | 1.1628 | 3.8383 |
| 3 | 0.2535 | 1.1556 | 3.4017 |
| 4 | 0.2418 | 1.1586 | 3.9310 |
| 5 | 0.2517 | 1.1534 | 3.6100 |
| 6 | 0.2488 | 1.1530 | 3.4501 |
| 7 | 0.2562 | 1.1547 | 3.9476 |
| 8 | 0.1433 | 0.9508 | 0.5249 |
| 9 | 0.1415 | 0.9501 | 0.4771 |
| 10 | 0.2436 | 1.2072 | 3.4760 |
| 11 | 0.2535 | 1.2023 | 3.5216 |
| 12 | 0.2604 | 1.2037 | 3.7074 |
| 13 | 0.2553 | 1.2009 | 3.5530 |
| 14 | 0.2588 | 1.2016 | 3.7628 |
| 15 | 0.2466 | 1.2006 | 3.5094 |
| 16 | 0.2507 | 1.2118 | 3.3530 |
| 17 | 0.2455 | 1.1681 | 3.8817 |
| 18 | 0.2440 | 1.1620 | 3.7500 |
| 19 | 0.2548 | 1.1610 | 3.5245 |
| 20 | 0.2563 | 1.1582 | 3.5663 |
| 21 | 0.2520 | 1.1565 | 3.4645 |
| 22 | 0.2533 | 1.1565 | 3.4963 |
| SAIFI_p | 0.2502 | | |
| SAIFI | 1.1759 | | |
| SAIDI | 3.6304 | | |

ตาราง ก.33 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดันPick up 0.80 pu.ค่าTimemultiplier
 มีค่า 0.1 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2464 | 1.0364 | 3.5505 |
| 2 | 0.2617 | 1.0371 | 3.8680 |
| 3 | 0.2581 | 1.0491 | 3.4924 |
| 4 | 0.2471 | 1.0489 | 3.5530 |
| 5 | 0.2538 | 1.0478 | 3.7587 |
| 6 | 0.2548 | 1.0473 | 3.5810 |
| 7 | 0.2617 | 1.0474 | 3.6335 |
| 8 | 0.1434 | 0.7990 | 0.5255 |
| 9 | 0.1440 | 0.7981 | 0.4921 |
| 10 | 0.2488 | 1.0914 | 3.7227 |
| 11 | 0.2556 | 1.0903 | 3.6843 |
| 12 | 0.2580 | 1.0911 | 3.6042 |
| 13 | 0.2561 | 1.0896 | 3.5695 |
| 14 | 0.2608 | 1.0899 | 3.6865 |
| 15 | 0.2448 | 1.0876 | 3.3551 |
| 16 | 0.2620 | 1.0812 | 3.7650 |
| 17 | 0.2430 | 1.0333 | 3.8686 |
| 18 | 0.2520 | 1.0532 | 3.6302 |
| 19 | 0.2606 | 1.0524 | 3.5000 |
| 20 | 0.2611 | 1.0497 | 3.3622 |
| 21 | 0.2598 | 1.0495 | 3.4901 |
| 22 | 0.2654 | 1.0514 | 3.8274 |
| SAIFI_p | 0.2538 | | |
| SAIFI | 1.0592 | | |
| SAIDI | 3.6538 | | |

ตาราง ก.34 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดัน Pick up 0.75 pu. ค่า Timemultiplier
 มีค่า 0.1 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2467 | 0.8849 | 3.4025 |
| 2 | 0.2621 | 0.8851 | 3.6066 |
| 3 | 0.2588 | 0.9301 | 3.4633 |
| 4 | 0.2462 | 0.9319 | 3.7351 |
| 5 | 0.2595 | 0.9280 | 3.5392 |
| 6 | 0.2570 | 0.9289 | 3.7040 |
| 7 | 0.2599 | 0.9281 | 3.5504 |
| 8 | 0.1452 | 0.6601 | 0.5314 |
| 9 | 0.1443 | 0.6596 | 0.4925 |
| 10 | 0.2466 | 0.9445 | 3.5221 |
| 11 | 0.2559 | 0.9669 | 3.5340 |
| 12 | 0.2565 | 0.9659 | 3.3633 |
| 13 | 0.2545 | 0.9642 | 3.4448 |
| 14 | 0.2571 | 0.9633 | 3.3188 |
| 15 | 0.2451 | 0.9642 | 3.4547 |
| 16 | 0.2614 | 0.9153 | 3.5292 |
| 17 | 0.2500 | 0.8660 | 3.6033 |
| 18 | 0.2484 | 0.9267 | 3.3674 |
| 19 | 0.2632 | 0.9296 | 3.8970 |
| 20 | 0.2627 | 0.9248 | 3.5602 |
| 21 | 0.2614 | 0.9241 | 3.7066 |
| 22 | 0.2611 | 0.9242 | 3.6502 |
| SAIFI_p | 0.2542 | | |
| SAIFI | 0.9222 | | |
| SAIDI | 3.5264 | | |

ตาราง ก.35 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตั้งค่าการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินที่ค่าแรงดันPick up 0.70 pu.ค่าTimemultiplier
 มีค่า 0.1 และค่าเวลาในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 1 วินาทีสำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2437 | 0.7617 | 3.4794 |
| 2 | 0.2538 | 0.7611 | 3.5035 |
| 3 | 0.2590 | 0.8563 | 3.6704 |
| 4 | 0.2423 | 0.8562 | 3.6084 |
| 5 | 0.2566 | 0.8551 | 3.7704 |
| 6 | 0.2533 | 0.8540 | 3.6032 |
| 7 | 0.2567 | 0.8548 | 3.7147 |
| 8 | 0.1434 | 0.5438 | 0.5314 |
| 9 | 0.1425 | 0.5434 | 0.4774 |
| 10 | 0.2449 | 0.7944 | 3.5417 |
| 11 | 0.2567 | 0.8682 | 3.7289 |
| 12 | 0.2600 | 0.8691 | 3.9383 |
| 13 | 0.2596 | 0.8666 | 3.7129 |
| 14 | 0.2571 | 0.8659 | 3.5062 |
| 15 | 0.2468 | 0.8665 | 3.6365 |
| 16 | 0.2547 | 0.7667 | 3.7024 |
| 17 | 0.2453 | 0.7198 | 3.6636 |
| 18 | 0.2451 | 0.8344 | 3.5455 |
| 19 | 0.2583 | 0.8350 | 3.6643 |
| 20 | 0.2565 | 0.8329 | 3.5310 |
| 21 | 0.2567 | 0.8335 | 3.8060 |
| 22 | 0.2598 | 0.8321 | 3.4736 |
| SAIFI_p | 0.2518 | | |
| SAIFI | 0.8115 | | |
| SAIDI | 3.6324 | | |

**ก.3 ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกิน
รุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบ
อินเวอร์ส (Inverse Type)**

หัวข้อนี้เราจะพิจารณาในกรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse Type) ซึ่งการระยะเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสผิดพลาดถ้ากระแสผิดพลาดมีค่ามากเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานอย่างรวดเร็ว แต่ถ้ากระแสผิดพลาดมีค่าน้อยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานในเวลาที่มากขึ้น โดยสามารถตั้งค่า Time multiplier ได้เพื่อทำการหน่วงเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งค่าที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์นี้ได้แก่ 0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6 และ0.7 สำหรับรีเลย์แรงดันต่ำเกินจะทำการปรับค่าการทำงานดังนี้ ค่าแรงดัน Pick up จะตั้งไว้ที่ 0.9 p.u. ส่วนค่า Time multiplier จะตั้งไว้ที่ค่า 0.1 ตลอดทั้งการจำลองเหตุการณ์ในหัวข้อนี้ โดยผลการจำลองเหตุการณ์เป็นดังนี้



ตาราง ก.36 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.1

สำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2420 | 0.2420 | 3.2569 |
| 2 | 0.2568 | 0.2568 | 3.5721 |
| 3 | 0.2559 | 0.2559 | 3.7208 |
| 4 | 0.2420 | 0.2420 | 3.7382 |
| 5 | 0.2542 | 0.2542 | 3.3928 |
| 6 | 0.2527 | 0.2527 | 3.7608 |
| 7 | 0.2555 | 0.2555 | 3.4028 |
| 8 | 0.1409 | 0.1409 | 0.5490 |
| 9 | 0.1406 | 0.1406 | 0.5137 |
| 10 | 0.2514 | 0.2514 | 3.6510 |
| 11 | 0.2599 | 0.2599 | 3.6582 |
| 12 | 0.2618 | 0.2618 | 3.6622 |
| 13 | 0.2585 | 0.2585 | 3.4908 |
| 14 | 0.2561 | 0.2561 | 3.7999 |
| 15 | 0.2495 | 0.2495 | 3.6720 |
| 16 | 0.2569 | 0.2569 | 3.6157 |
| 17 | 0.2450 | 0.2450 | 3.6222 |
| 18 | 0.2462 | 0.2462 | 3.3194 |
| 19 | 0.2580 | 0.2580 | 3.5758 |
| 20 | 0.2573 | 0.2573 | 3.5218 |
| 21 | 0.2559 | 0.2559 | 3.5644 |
| 22 | 0.2557 | 0.2557 | 3.5087 |
| SAIFI_p | 0.2529 | | |
| SAIFI | 0.2529 | | |
| SAIDI | 3.5579 | | |

ตาราง ก.37 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.2

สำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2419 | 0.2419 | 3.2611 |
| 2 | 0.2566 | 0.2566 | 3.5910 |
| 3 | 0.2557 | 0.2971 | 3.7233 |
| 4 | 0.2418 | 0.2844 | 3.7263 |
| 5 | 0.2540 | 0.4234 | 3.4048 |
| 6 | 0.2526 | 0.4248 | 3.7563 |
| 7 | 0.2552 | 0.4229 | 3.3985 |
| 8 | 0.1400 | 0.1400 | 0.5499 |
| 9 | 0.1415 | 0.1415 | 0.5133 |
| 10 | 0.2512 | 0.2512 | 3.6456 |
| 11 | 0.2598 | 0.2747 | 3.6463 |
| 12 | 0.2617 | 0.2763 | 3.6494 |
| 13 | 0.2584 | 0.3641 | 3.4866 |
| 14 | 0.2601 | 0.3656 | 3.8030 |
| 15 | 0.2494 | 0.3804 | 3.6667 |
| 16 | 0.2567 | 0.2567 | 3.6027 |
| 17 | 0.2450 | 0.2450 | 3.6249 |
| 18 | 0.2462 | 0.2917 | 3.3157 |
| 19 | 0.2579 | 0.3065 | 3.5630 |
| 20 | 0.2570 | 0.4357 | 3.5172 |
| 21 | 0.2557 | 0.4355 | 3.5670 |
| 22 | 0.2557 | 0.4353 | 3.5128 |
| SAIFI_p | 0.2528 | | |
| SAIFI | 0.2742 | | |
| SAIDI | 3.5559 | | |

ตาราง ก.38 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.3

สำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2409 | 0.3248 | 3.4813 |
| 2 | 0.2535 | 0.3285 | 3.4976 |
| 3 | 0.2547 | 0.5303 | 3.5858 |
| 4 | 0.2422 | 0.5297 | 3.4203 |
| 5 | 0.2550 | 0.5319 | 3.4602 |
| 6 | 0.2544 | 0.5329 | 3.6375 |
| 7 | 0.2518 | 0.5302 | 3.1841 |
| 8 | 0.1419 | 0.1619 | 0.5283 |
| 9 | 0.1424 | 0.1622 | 0.5068 |
| 10 | 0.2439 | 0.2462 | 3.5077 |
| 11 | 0.2568 | 0.4761 | 3.7734 |
| 12 | 0.2566 | 0.4748 | 3.5978 |
| 13 | 0.2555 | 0.4803 | 3.6099 |
| 14 | 0.2558 | 0.4791 | 3.4733 |
| 15 | 0.2446 | 0.4806 | 3.7498 |
| 16 | 0.2547 | 0.3432 | 3.6967 |
| 17 | 0.2432 | 0.2941 | 3.6078 |
| 18 | 0.2445 | 0.4979 | 3.9357 |
| 19 | 0.2655 | 0.4969 | 3.8119 |
| 20 | 0.2656 | 0.4949 | 3.6237 |
| 21 | 0.2528 | 0.4942 | 3.5901 |
| 22 | 0.2566 | 0.4953 | 3.7170 |
| SAIFI_p | 0.2510 | | |
| SAIFI | 0.4089 | | |
| SAIDI | 3.6375 | | |

ตาราง ก.39 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.4

สำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2421 | 0.5019 | 3.5597 |
| 2 | 0.2535 | 0.5015 | 3.6786 |
| 3 | 0.2534 | 0.6148 | 3.6711 |
| 4 | 0.2400 | 0.6145 | 3.4568 |
| 5 | 0.2558 | 0.6139 | 3.8855 |
| 6 | 0.2501 | 0.6125 | 3.6468 |
| 7 | 0.2532 | 0.6121 | 3.6481 |
| 8 | 0.1439 | 0.2720 | 0.5540 |
| 9 | 0.1431 | 0.2709 | 0.5077 |
| 10 | 0.2436 | 0.4252 | 3.4272 |
| 11 | 0.2537 | 0.5714 | 3.5568 |
| 12 | 0.2558 | 0.5717 | 3.7368 |
| 13 | 0.2535 | 0.5720 | 4.0094 |
| 14 | 0.2566 | 0.5689 | 3.4418 |
| 15 | 0.2413 | 0.5686 | 3.5324 |
| 16 | 0.2539 | 0.4852 | 3.7750 |
| 17 | 0.2464 | 0.4379 | 3.6649 |
| 18 | 0.2461 | 0.5636 | 3.5765 |
| 19 | 0.2604 | 0.5628 | 3.6460 |
| 20 | 0.2604 | 0.5633 | 3.8070 |
| 21 | 0.2528 | 0.5613 | 3.5540 |
| 22 | 0.2559 | 0.5602 | 3.3088 |
| SAIFI_p | 0.2504 | | |
| SAIFI | 0.5287 | | |
| SAIDI | 3.6084 | | |

ตาราง ก.40 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.5

สำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2454 | 0.6354 | 3.5474 |
| 2 | 0.2572 | 0.6354 | 3.6581 |
| 3 | 0.2594 | 0.6753 | 3.5545 |
| 4 | 0.2422 | 0.6761 | 3.6247 |
| 5 | 0.2558 | 0.6728 | 3.4609 |
| 6 | 0.2567 | 0.6735 | 3.6668 |
| 7 | 0.2560 | 0.6724 | 3.5123 |
| 8 | 0.1433 | 0.3968 | 0.5545 |
| 9 | 0.1429 | 0.4159 | 0.5094 |
| 10 | 0.2484 | 0.6058 | 3.5519 |
| 11 | 0.2616 | 0.6654 | 3.5384 |
| 12 | 0.2612 | 0.6651 | 3.4738 |
| 13 | 0.2586 | 0.6626 | 3.4923 |
| 14 | 0.2617 | 0.6637 | 3.6838 |
| 15 | 0.2520 | 0.6641 | 3.9236 |
| 16 | 0.2610 | 0.6450 | 3.5443 |
| 17 | 0.2510 | 0.5965 | 3.5224 |
| 18 | 0.2515 | 0.6491 | 3.6558 |
| 19 | 0.2637 | 0.6488 | 3.6705 |
| 20 | 0.2638 | 0.6461 | 3.6169 |
| 21 | 0.2578 | 0.6462 | 3.6255 |
| 22 | 0.2639 | 0.6445 | 3.3435 |
| SAIFI_p | 0.2554 | | |
| SAIFI | 0.6422 | | |
| SAIDI | 3.5721 | | |

ตาราง ก.41 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.6

สำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2438 | 0.7215 | 3.6569 |
| 2 | 0.2609 | 0.7221 | 3.7593 |
| 3 | 0.2591 | 0.7331 | 3.8484 |
| 4 | 0.2463 | 0.7330 | 3.7395 |
| 5 | 0.2599 | 0.7340 | 4.2033 |
| 6 | 0.2577 | 0.7312 | 3.6625 |
| 7 | 0.2591 | 0.7306 | 3.6017 |
| 8 | 0.1431 | 0.5089 | 0.5602 |
| 9 | 0.1437 | 0.5365 | 0.4992 |
| 10 | 0.2491 | 0.7286 | 3.7244 |
| 11 | 0.2588 | 0.7398 | 3.6960 |
| 12 | 0.2587 | 0.7407 | 3.9160 |
| 13 | 0.2553 | 0.7383 | 3.6993 |
| 14 | 0.2587 | 0.7368 | 3.5780 |
| 15 | 0.2488 | 0.7378 | 3.8442 |
| 16 | 0.2558 | 0.7450 | 3.7299 |
| 17 | 0.2476 | 0.7004 | 3.7232 |
| 18 | 0.2515 | 0.7077 | 3.8421 |
| 19 | 0.2615 | 0.7055 | 3.4939 |
| 20 | 0.2640 | 0.7029 | 3.4126 |
| 21 | 0.2554 | 0.7024 | 3.3451 |
| 22 | 0.2577 | 0.7025 | 3.1863 |
| SAIFI_p | 0.2545 | | |
| SAIFI | 0.7223 | | |
| SAIDI | 3.7328 | | |

ตาราง ก.42 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.7

สำหรับ 3 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2419 | 0.7832 | 3.2531 |
| 2 | 0.2568 | 0.7842 | 3.5878 |
| 3 | 0.2552 | 0.7812 | 3.6984 |
| 4 | 0.2417 | 0.7816 | 3.7323 |
| 5 | 0.2540 | 0.7773 | 3.4164 |
| 6 | 0.2530 | 0.7787 | 3.7558 |
| 7 | 0.2554 | 0.7771 | 3.4326 |
| 8 | 0.1446 | 0.6339 | 0.5477 |
| 9 | 0.1453 | 0.6430 | 0.5125 |
| 10 | 0.2507 | 0.8501 | 3.6663 |
| 11 | 0.2593 | 0.8423 | 3.6323 |
| 12 | 0.2610 | 0.8422 | 3.6715 |
| 13 | 0.2577 | 0.8380 | 3.5099 |
| 14 | 0.2657 | 0.8395 | 3.8181 |
| 15 | 0.2492 | 0.8387 | 3.6772 |
| 16 | 0.2565 | 0.8308 | 3.6431 |
| 17 | 0.2449 | 0.7828 | 3.6635 |
| 18 | 0.2458 | 0.7761 | 3.3061 |
| 19 | 0.2575 | 0.7768 | 3.5720 |
| 20 | 0.2567 | 0.7737 | 3.5272 |
| 21 | 0.2558 | 0.7729 | 3.5849 |
| 22 | 0.2555 | 0.7728 | 3.5084 |
| SAIFI_p | 0.2525 | | |
| SAIFI | 0.8020 | | |
| SAIDI | 3.5594 | | |

ตาราง ก.43 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.1

สำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2414 | 0.2414 | 3.2274 |
| 2 | 0.2566 | 0.2566 | 3.5570 |
| 3 | 0.2554 | 0.2554 | 3.7041 |
| 4 | 0.2417 | 0.2417 | 3.7018 |
| 5 | 0.2537 | 0.2537 | 3.4287 |
| 6 | 0.2532 | 0.2532 | 3.8215 |
| 7 | 0.2549 | 0.2549 | 3.4841 |
| 8 | 0.1451 | 0.1451 | 0.5487 |
| 9 | 0.1450 | 0.1450 | 0.5114 |
| 10 | 0.2504 | 0.2504 | 3.6741 |
| 11 | 0.2599 | 0.2599 | 3.6540 |
| 12 | 0.2612 | 0.2612 | 3.6647 |
| 13 | 0.2585 | 0.2585 | 3.5422 |
| 14 | 0.2654 | 0.2654 | 3.8129 |
| 15 | 0.2496 | 0.2496 | 3.6651 |
| 16 | 0.2565 | 0.2565 | 3.6481 |
| 17 | 0.2455 | 0.2455 | 3.6614 |
| 18 | 0.2457 | 0.2457 | 3.2673 |
| 19 | 0.2578 | 0.2578 | 3.5556 |
| 20 | 0.2567 | 0.2567 | 3.5418 |
| 21 | 0.2558 | 0.2558 | 3.5909 |
| 22 | 0.2561 | 0.2561 | 3.5180 |
| SAIFI_p | 0.2526 | | |
| SAIFI | 0.2526 | | |
| SAIDI | 3.5510 | | |

ตาราง ก.44 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.2

สำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2417 | 0.2417 | 3.2564 |
| 2 | 0.2564 | 0.2564 | 3.5375 |
| 3 | 0.2554 | 0.2970 | 3.7132 |
| 4 | 0.2419 | 0.2842 | 3.6941 |
| 5 | 0.2537 | 0.4225 | 3.4396 |
| 6 | 0.2532 | 0.4240 | 3.8327 |
| 7 | 0.2547 | 0.4222 | 3.4717 |
| 8 | 0.1451 | 0.1451 | 0.5497 |
| 9 | 0.1453 | 0.1453 | 0.5115 |
| 10 | 0.2497 | 0.2497 | 3.6426 |
| 11 | 0.2594 | 0.2742 | 3.6466 |
| 12 | 0.2609 | 0.2755 | 3.6823 |
| 13 | 0.2582 | 0.3636 | 3.5492 |
| 14 | 0.2648 | 0.3649 | 3.8238 |
| 15 | 0.2493 | 0.3801 | 3.6651 |
| 16 | 0.2568 | 0.2568 | 3.6562 |
| 17 | 0.2458 | 0.2458 | 3.6537 |
| 18 | 0.2462 | 0.2916 | 3.2597 |
| 19 | 0.2580 | 0.3066 | 3.5492 |
| 20 | 0.2571 | 0.4363 | 3.5670 |
| 21 | 0.2564 | 0.4362 | 3.5919 |
| 22 | 0.2564 | 0.4358 | 3.4991 |
| SAIFI_p | 0.2525 | | |
| SAIFI | 0.2739 | | |
| SAIDI | 3.5483 | | |

ตาราง ก.45 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.3

สำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2414 | 0.3248 | 3.2731 |
| 2 | 0.2561 | 0.3305 | 3.5192 |
| 3 | 0.2557 | 0.5303 | 3.7516 |
| 4 | 0.2420 | 0.5304 | 3.7030 |
| 5 | 0.2534 | 0.5309 | 3.4399 |
| 6 | 0.2530 | 0.5322 | 3.7927 |
| 7 | 0.2547 | 0.5307 | 3.4467 |
| 8 | 0.1452 | 0.1675 | 0.5510 |
| 9 | 0.1453 | 0.1664 | 0.5102 |
| 10 | 0.2496 | 0.2520 | 3.6130 |
| 11 | 0.2602 | 0.4817 | 3.6599 |
| 12 | 0.2611 | 0.4817 | 3.6771 |
| 13 | 0.2586 | 0.4863 | 3.5680 |
| 14 | 0.2649 | 0.4877 | 3.8372 |
| 15 | 0.2492 | 0.4864 | 3.6288 |
| 16 | 0.2569 | 0.3394 | 3.6335 |
| 17 | 0.2459 | 0.2904 | 3.6543 |
| 18 | 0.2467 | 0.4922 | 3.2906 |
| 19 | 0.2583 | 0.4929 | 3.5740 |
| 20 | 0.2576 | 0.4925 | 3.5678 |
| 21 | 0.2567 | 0.4917 | 3.5590 |
| 22 | 0.2566 | 0.4920 | 3.5032 |
| SAIFI_p | 0.2527 | | |
| SAIFI | 0.4097 | | |
| SAIDI | 3.5553 | | |

ตาราง ก.46 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.4

สำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2426 | 0.5009 | 3.2840 |
| 2 | 0.2575 | 0.5017 | 3.5587 |
| 3 | 0.2571 | 0.6162 | 3.8209 |
| 4 | 0.2433 | 0.6161 | 3.7001 |
| 5 | 0.2547 | 0.6133 | 3.4833 |
| 6 | 0.2540 | 0.6144 | 3.7760 |
| 7 | 0.2556 | 0.6127 | 3.4667 |
| 8 | 0.1452 | 0.2823 | 0.5510 |
| 9 | 0.1450 | 0.2809 | 0.5070 |
| 10 | 0.2505 | 0.4354 | 3.6487 |
| 11 | 0.2611 | 0.5825 | 3.6582 |
| 12 | 0.2622 | 0.5824 | 3.6479 |
| 13 | 0.2599 | 0.5803 | 3.5358 |
| 14 | 0.2653 | 0.5818 | 3.8241 |
| 15 | 0.2499 | 0.5804 | 3.6137 |
| 16 | 0.2571 | 0.4915 | 3.6375 |
| 17 | 0.2461 | 0.4427 | 3.6410 |
| 18 | 0.2469 | 0.5691 | 3.3438 |
| 19 | 0.2581 | 0.5695 | 3.5809 |
| 20 | 0.2577 | 0.5682 | 3.5410 |
| 21 | 0.2570 | 0.5673 | 3.5438 |
| 22 | 0.2570 | 0.5674 | 3.5369 |
| SAIFI_p | 0.2535 | | |
| SAIFI | 0.5342 | | |
| SAIDI | 3.5742 | | |

ตาราง ก.47 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.5

สำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2429 | 0.6345 | 3.2616 |
| 2 | 0.2575 | 0.6353 | 3.5657 |
| 3 | 0.2575 | 0.6783 | 3.8476 |
| 4 | 0.2430 | 0.6778 | 3.6640 |
| 5 | 0.2546 | 0.6755 | 3.4704 |
| 6 | 0.2537 | 0.6762 | 3.7634 |
| 7 | 0.2555 | 0.6749 | 3.4552 |
| 8 | 0.1451 | 0.4016 | 0.5516 |
| 9 | 0.1453 | 0.4219 | 0.5083 |
| 10 | 0.2500 | 0.6124 | 3.6529 |
| 11 | 0.2612 | 0.6728 | 3.6864 |
| 12 | 0.2620 | 0.6726 | 3.6810 |
| 13 | 0.2595 | 0.6695 | 3.5360 |
| 14 | 0.2652 | 0.6709 | 3.8019 |
| 15 | 0.2493 | 0.6696 | 3.6108 |
| 16 | 0.2569 | 0.6451 | 3.6376 |
| 17 | 0.2463 | 0.5971 | 3.6752 |
| 18 | 0.2468 | 0.6478 | 3.3204 |
| 19 | 0.2577 | 0.6484 | 3.5382 |
| 20 | 0.2573 | 0.6470 | 3.5602 |
| 21 | 0.2571 | 0.6468 | 3.5804 |
| 22 | 0.2569 | 0.6466 | 3.5172 |
| SAIFI_p | 0.2535 | | |
| SAIFI | 0.6447 | | |
| SAIDI | 3.5789 | | |

ตาราง ก.48 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.6

สำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2369 | 0.7145 | 3.5572 |
| 2 | 0.2534 | 0.7150 | 3.7551 |
| 3 | 0.2537 | 0.7222 | 3.4715 |
| 4 | 0.2393 | 0.7230 | 3.6796 |
| 5 | 0.2527 | 0.7231 | 3.8746 |
| 6 | 0.2489 | 0.7215 | 3.6537 |
| 7 | 0.2512 | 0.7211 | 3.5067 |
| 8 | 0.1418 | 0.5053 | 0.5354 |
| 9 | 0.1453 | 0.5332 | 0.5269 |
| 10 | 0.2509 | 0.7331 | 3.4623 |
| 11 | 0.2622 | 0.7444 | 3.6636 |
| 12 | 0.2641 | 0.7446 | 3.7054 |
| 13 | 0.2622 | 0.7427 | 3.6649 |
| 14 | 0.2627 | 0.7417 | 3.4351 |
| 15 | 0.2505 | 0.7417 | 3.5701 |
| 16 | 0.2581 | 0.7378 | 3.6884 |
| 17 | 0.2488 | 0.6904 | 3.4735 |
| 18 | 0.2471 | 0.6987 | 3.6304 |
| 19 | 0.2595 | 0.6984 | 3.6405 |
| 20 | 0.2620 | 0.6964 | 3.6705 |
| 21 | 0.2575 | 0.6956 | 3.5378 |
| 22 | 0.2602 | 0.6954 | 3.4391 |
| SAIFI_p | 0.2528 | | |
| SAIFI | 0.7181 | | |
| SAIDI | 3.5915 | | |

ตาราง ก.49 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแบบอินเวอร์สและค่า Time multiplier มีค่า 0.7

สำหรับ 1 phase fault

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.2473 | 0.7929 | 3.6728 |
| 2 | 0.2610 | 0.7930 | 3.8387 |
| 3 | 0.2556 | 0.7881 | 3.4825 |
| 4 | 0.2463 | 0.7885 | 3.4525 |
| 5 | 0.2590 | 0.7853 | 3.4228 |
| 6 | 0.2553 | 0.7875 | 3.8332 |
| 7 | 0.2599 | 0.7851 | 3.4777 |
| 8 | 0.1420 | 0.6304 | 0.5350 |
| 9 | 0.1424 | 0.6403 | 0.5252 |
| 10 | 0.2501 | 0.8510 | 3.5244 |
| 11 | 0.2587 | 0.8433 | 3.3681 |
| 12 | 0.2568 | 0.8464 | 3.9879 |
| 13 | 0.2604 | 0.8415 | 3.6968 |
| 14 | 0.2602 | 0.8397 | 3.3066 |
| 15 | 0.2496 | 0.8406 | 3.5686 |
| 16 | 0.2538 | 0.8299 | 3.8209 |
| 17 | 0.2414 | 0.7812 | 3.8287 |
| 18 | 0.2413 | 0.7748 | 3.6125 |
| 19 | 0.2553 | 0.7740 | 3.4666 |
| 20 | 0.2536 | 0.7719 | 3.5912 |
| 21 | 0.2526 | 0.7713 | 3.6870 |
| 22 | 0.2546 | 0.7713 | 3.7533 |
| SAIFI_p | 0.2520 | | |
| SAIFI | 0.8050 | | |
| SAIDI | 3.6384 | | |

ก.4 ผลการทดสอบระบบ RBTS Bus2 ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse Type) โดยมีการติดตั้งรีโอสเซอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันในระบบ

ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาเพิ่มเติม โดยทำการเพิ่มอุปกรณ์ป้องกันเข้าไปในระบบอีกชั้นหนึ่ง คือ รีโอสเซอร์ โดยจะทำการติดตั้งรีโอสเซอร์เข้าไปในระบบฟีดเดอร์ละ 1 ตัวดังรูปที่ 6.20 โดยรีโอสเซอร์ที่นำมาใช้ในการจำลองเหตุการณ์นี้มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 6.21 โดยในหัวข้อนี้จะพิจารณาเฉพาะการผัดพร่องแบบ 3 เฟสเนื่องจากในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าการผัดพร่องทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน และเราจะปรับตั้งการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบซึ่งได้แก่ รีเลย์แรงดันต่ำเกิน เซอร์กิตเบรกเกอร์ และ รีโอสเซอร์ ไว้ให้มีการทำงานใน 3 หมวดดังนี้

- 1) ปรับตั้งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 และ รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่า Time multiplier มีค่า 0.1 โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์ไว้ที่ค่า 0.9 0.85 0.80 0.75 และ 0.70 p.u. ตามลำดับ
- 2) ปรับตั้งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 และ รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าแรงดัน Pick up 0.9 p.u. โดยทำการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของรีเลย์ไว้ที่ค่า 0.1 0.2 0.4 0.7 และ 1.0 ตามลำดับ
- 3) ปรับตั้งให้รีเลย์แรงดันต่ำเกินทำงานที่ค่าแรงดัน Pick up มีค่า 0.9 p.u. และ ค่า Time multiplier มีค่า 0.1 โดยทำการปรับเปลี่ยนค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่ค่า 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.50 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี
 ค่า Time multiplier เป็น 0.1 ค่าแรงดัน Pick up มีค่า 0.90 p.u.

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1525 | 0.6250 | 3.5152 |
| 2 | 0.1690 | 0.6253 | 3.6329 |
| 3 | 0.1686 | 0.6697 | 3.6592 |
| 4 | 0.1557 | 0.6615 | 3.4793 |
| 5 | 0.2582 | 0.7244 | 3.3794 |
| 6 | 0.2533 | 0.7248 | 3.4729 |
| 7 | 0.2571 | 0.7245 | 3.4738 |
| 8 | 0.1003 | 0.4919 | 0.4949 |
| 9 | 0.1460 | 0.5357 | 0.5027 |
| 10 | 0.1573 | 0.6456 | 3.4320 |
| 11 | 0.1665 | 0.6928 | 3.7379 |
| 12 | 0.1727 | 0.6849 | 3.6736 |
| 13 | 0.2555 | 0.7416 | 3.4129 |
| 14 | 0.2604 | 0.7432 | 3.6857 |
| 15 | 0.2467 | 0.7419 | 3.5633 |
| 16 | 0.1708 | 0.6538 | 3.5569 |
| 17 | 0.1641 | 0.6069 | 3.5473 |
| 18 | 0.1612 | 0.6492 | 3.5200 |
| 19 | 0.1732 | 0.6429 | 3.6491 |
| 20 | 0.2620 | 0.7021 | 3.7478 |
| 21 | 0.2589 | 0.7021 | 3.7585 |
| 22 | 0.2642 | 0.7012 | 3.5216 |
| SAIFI_p | 0.1671 | | |
| SAIFI | 0.6508 | | |
| SAIDI | 3.5909 | | |

ตารางที่ ก.51 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี
 ค่า Time multiplier เป็น 0.1 ค่าแรงดัน Pick up มีค่า 0.85 p.u.

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1498 | 0.5506 | 3.3963 |
| 2 | 0.1632 | 0.5515 | 3.6655 |
| 3 | 0.1644 | 0.6290 | 3.3025 |
| 4 | 0.1506 | 0.6232 | 3.3787 |
| 5 | 0.2526 | 0.6836 | 3.6511 |
| 6 | 0.2492 | 0.6841 | 3.6147 |
| 7 | 0.2503 | 0.6840 | 3.6685 |
| 8 | 0.1003 | 0.4169 | 0.4941 |
| 9 | 0.1420 | 0.4619 | 0.4813 |
| 10 | 0.1589 | 0.5476 | 3.8337 |
| 11 | 0.1726 | 0.6340 | 3.8140 |
| 12 | 0.1717 | 0.6262 | 3.5565 |
| 13 | 0.2587 | 0.6896 | 3.5855 |
| 14 | 0.2602 | 0.6899 | 3.5728 |
| 15 | 0.2470 | 0.6886 | 3.4456 |
| 16 | 0.1647 | 0.5554 | 3.7827 |
| 17 | 0.1539 | 0.5090 | 3.3106 |
| 18 | 0.1573 | 0.6032 | 3.4302 |
| 19 | 0.1722 | 0.5988 | 3.9122 |
| 20 | 0.2562 | 0.6567 | 3.3978 |
| 21 | 0.2545 | 0.6576 | 3.5630 |
| 22 | 0.2586 | 0.6569 | 3.4731 |
| SAIFI_p | 0.1647 | | |
| SAIFI | 0.5853 | | |
| SAIDI | 3.5778 | | |

ตารางที่ ก.52 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี

ค่า Time multiplier เป็น 0.1 ค่าแรงดัน Pick up มีค่า 0.80 p.u.

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1540 | 0.4809 | 3.1856 |
| 2 | 0.1687 | 0.4817 | 3.4605 |
| 3 | 0.1676 | 0.6108 | 3.6609 |
| 4 | 0.1540 | 0.6034 | 3.6263 |
| 5 | 0.2536 | 0.6669 | 3.4205 |
| 6 | 0.2533 | 0.6683 | 3.8328 |
| 7 | 0.2549 | 0.6666 | 3.4761 |
| 8 | 0.1044 | 0.3707 | 0.5311 |
| 9 | 0.1450 | 0.4184 | 0.5116 |
| 10 | 0.1575 | 0.4608 | 3.5630 |
| 11 | 0.1672 | 0.5933 | 3.5978 |
| 12 | 0.1687 | 0.5864 | 3.6179 |
| 13 | 0.2581 | 0.6510 | 3.5320 |
| 14 | 0.2649 | 0.6524 | 3.8081 |
| 15 | 0.2493 | 0.6512 | 3.6547 |
| 16 | 0.1675 | 0.4821 | 3.5649 |
| 17 | 0.1565 | 0.4334 | 3.5775 |
| 18 | 0.1568 | 0.5766 | 3.2095 |
| 19 | 0.1688 | 0.5696 | 3.4946 |
| 20 | 0.2570 | 0.6353 | 3.5643 |
| 21 | 0.2561 | 0.6346 | 3.5966 |
| 22 | 0.2563 | 0.6345 | 3.5097 |
| SAIFI_p | 0.1650 | | |
| SAIFI | 0.5349 | | |
| SAIDI | 3.4859 | | |

ตารางที่ ก.53 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี

ค่า Time multiplier เป็น 0.1 ค่าแรงดัน Pick up มีค่า 0.75 p.u.

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1537 | 0.4210 | 3.6142 |
| 2 | 0.1641 | 0.4199 | 3.5428 |
| 3 | 0.1663 | 0.5868 | 3.5261 |
| 4 | 0.1536 | 0.5787 | 3.5448 |
| 5 | 0.2580 | 0.6475 | 3.6180 |
| 6 | 0.2532 | 0.6466 | 3.4770 |
| 7 | 0.2594 | 0.6471 | 3.6717 |
| 8 | 0.1023 | 0.3189 | 0.5001 |
| 9 | 0.1446 | 0.3682 | 0.4916 |
| 10 | 0.1565 | 0.3771 | 3.0973 |
| 11 | 0.1672 | 0.5550 | 3.4899 |
| 12 | 0.1696 | 0.5476 | 3.4502 |
| 13 | 0.2549 | 0.6133 | 3.6490 |
| 14 | 0.2576 | 0.6144 | 3.8005 |
| 15 | 0.2456 | 0.6118 | 3.3808 |
| 16 | 0.1663 | 0.4224 | 3.5583 |
| 17 | 0.1586 | 0.3760 | 3.6649 |
| 18 | 0.1563 | 0.5427 | 3.4330 |
| 19 | 0.1682 | 0.5338 | 3.2507 |
| 20 | 0.2571 | 0.6009 | 3.5479 |
| 21 | 0.2532 | 0.6003 | 3.6218 |
| 22 | 0.2591 | 0.6002 | 3.5910 |
| SAIFI_p | 0.1644 | | |
| SAIFI | 0.4870 | | |
| SAIDI | 3.4518 | | |

ตารางที่ ก.54 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี

ค่า Time multiplier เป็น 0.1 ค่าแรงดัน Pick up มีค่า 0.70 p.u.

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1552 | 0.3697 | 3.6019 |
| 2 | 0.1697 | 0.3684 | 3.5033 |
| 3 | 0.1694 | 0.5665 | 3.3992 |
| 4 | 0.1567 | 0.5591 | 3.3176 |
| 5 | 0.2598 | 0.6367 | 3.6896 |
| 6 | 0.2584 | 0.6372 | 3.7900 |
| 7 | 0.2612 | 0.6348 | 3.4120 |
| 8 | 0.1000 | 0.2782 | 0.5100 |
| 9 | 0.1388 | 0.3266 | 0.4958 |
| 10 | 0.1583 | 0.3133 | 3.2965 |
| 11 | 0.1707 | 0.5255 | 3.6238 |
| 12 | 0.1734 | 0.5174 | 3.5600 |
| 13 | 0.2565 | 0.5868 | 3.5156 |
| 14 | 0.2597 | 0.5866 | 3.5701 |
| 15 | 0.2488 | 0.5862 | 3.6426 |
| 16 | 0.1685 | 0.3722 | 3.6792 |
| 17 | 0.1559 | 0.3230 | 3.3591 |
| 18 | 0.1574 | 0.5154 | 3.4522 |
| 19 | 0.1716 | 0.5067 | 3.4904 |
| 20 | 0.2604 | 0.5837 | 3.5074 |
| 21 | 0.2548 | 0.5828 | 3.4598 |
| 22 | 0.2631 | 0.5845 | 3.8682 |
| SAIFI_p | 0.1668 | | |
| SAIFI | 0.4481 | | |
| SAIDI | 3.4788 | | |

ตารางที่ ก.55 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี
 ค่าแรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.1

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1525 | 0.6250 | 3.5152 |
| 2 | 0.1690 | 0.6253 | 3.6329 |
| 3 | 0.1686 | 0.6697 | 3.6592 |
| 4 | 0.1557 | 0.6615 | 3.4793 |
| 5 | 0.2582 | 0.7244 | 3.3794 |
| 6 | 0.2533 | 0.7248 | 3.4729 |
| 7 | 0.2571 | 0.7245 | 3.4738 |
| 8 | 0.1003 | 0.4919 | 0.4949 |
| 9 | 0.1460 | 0.5357 | 0.5027 |
| 10 | 0.1573 | 0.6456 | 3.4320 |
| 11 | 0.1665 | 0.6928 | 3.7379 |
| 12 | 0.1727 | 0.6849 | 3.6736 |
| 13 | 0.2555 | 0.7416 | 3.4129 |
| 14 | 0.2604 | 0.7432 | 3.6857 |
| 15 | 0.2467 | 0.7419 | 3.5633 |
| 16 | 0.1708 | 0.6538 | 3.5569 |
| 17 | 0.1641 | 0.6069 | 3.5473 |
| 18 | 0.1612 | 0.6492 | 3.5200 |
| 19 | 0.1732 | 0.6429 | 3.6491 |
| 20 | 0.2620 | 0.7021 | 3.7478 |
| 21 | 0.2589 | 0.7021 | 3.7585 |
| 22 | 0.2642 | 0.7012 | 3.5216 |
| SAIFI_p | 0.1671 | | |
| SAIFI | 0.6508 | | |
| SAIDI | 3.5909 | | |

ตารางที่ ก.56 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รัลย์แรงดันต่ำเกินมี
 ค่าแรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.2

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1546 | 0.3232 | 3.3564 |
| 2 | 0.1714 | 0.3248 | 3.7706 |
| 3 | 0.1666 | 0.5053 | 3.4686 |
| 4 | 0.1561 | 0.5054 | 3.4709 |
| 5 | 0.2612 | 0.5956 | 3.6788 |
| 6 | 0.2581 | 0.5960 | 3.7067 |
| 7 | 0.2626 | 0.5951 | 3.5268 |
| 8 | 0.1058 | 0.2033 | 0.4960 |
| 9 | 0.1416 | 0.2389 | 0.4734 |
| 10 | 0.1620 | 0.2637 | 3.8735 |
| 11 | 0.1695 | 0.4603 | 3.4521 |
| 12 | 0.1712 | 0.4614 | 3.6469 |
| 13 | 0.2554 | 0.5464 | 3.8531 |
| 14 | 0.2550 | 0.5451 | 3.6541 |
| 15 | 0.2442 | 0.5442 | 3.5375 |
| 16 | 0.1642 | 0.3290 | 3.3994 |
| 17 | 0.1544 | 0.2834 | 3.5471 |
| 18 | 0.1563 | 0.4532 | 3.4759 |
| 19 | 0.1687 | 0.4519 | 3.4357 |
| 20 | 0.2540 | 0.5375 | 3.4744 |
| 21 | 0.2523 | 0.5380 | 3.7100 |
| 22 | 0.2559 | 0.5370 | 3.5925 |
| SAIFI_p | 0.1660 | | |
| SAIFI | 0.3951 | | |
| SAIDI | 3.5561 | | |

ตารางที่ ก.57 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี

ค่าแรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.4

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1543 | 0.1661 | 3.4026 |
| 2 | 0.1708 | 0.1808 | 3.7341 |
| 3 | 0.1665 | 0.2426 | 3.4510 |
| 4 | 0.1557 | 0.2313 | 3.4582 |
| 5 | 0.2612 | 0.4603 | 3.6920 |
| 6 | 0.2572 | 0.4607 | 3.6983 |
| 7 | 0.2629 | 0.4603 | 3.6034 |
| 8 | 0.1056 | 0.1056 | 0.4953 |
| 9 | 0.1411 | 0.1411 | 0.4717 |
| 10 | 0.1620 | 0.1620 | 3.8386 |
| 11 | 0.1694 | 0.2018 | 3.4228 |
| 12 | 0.1714 | 0.2054 | 3.6122 |
| 13 | 0.2554 | 0.3856 | 3.8300 |
| 14 | 0.2552 | 0.3844 | 3.6317 |
| 15 | 0.2448 | 0.3999 | 3.5748 |
| 16 | 0.1647 | 0.1779 | 3.4790 |
| 17 | 0.1546 | 0.1548 | 3.5797 |
| 18 | 0.1562 | 0.2228 | 3.4339 |
| 19 | 0.1690 | 0.2318 | 3.4216 |
| 20 | 0.2551 | 0.4504 | 3.4789 |
| 21 | 0.2533 | 0.4512 | 3.7582 |
| 22 | 0.2567 | 0.4495 | 3.5450 |
| SAIFI_p | 0.1660 | | |
| SAIFI | 0.2019 | | |
| SAIDI | 3.5428 | | |

ตารางที่ ก.58 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี
 ค่าแรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 0.7

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1524 | 0.1524 | 3.3528 |
| 2 | 0.1657 | 0.1657 | 3.4342 |
| 3 | 0.1634 | 0.1634 | 3.3669 |
| 4 | 0.1509 | 0.1509 | 3.3106 |
| 5 | 0.2530 | 0.2586 | 3.7273 |
| 6 | 0.2499 | 0.2566 | 3.6192 |
| 7 | 0.2526 | 0.2645 | 3.3229 |
| 8 | 0.1030 | 0.1030 | 0.4827 |
| 9 | 0.1447 | 0.1447 | 0.4970 |
| 10 | 0.1620 | 0.1620 | 3.3395 |
| 11 | 0.1719 | 0.1719 | 3.2946 |
| 12 | 0.1759 | 0.1759 | 3.4696 |
| 13 | 0.2612 | 0.2612 | 3.2956 |
| 14 | 0.2663 | 0.2663 | 3.5175 |
| 15 | 0.2545 | 0.2545 | 3.6500 |
| 16 | 0.1683 | 0.1683 | 3.6066 |
| 17 | 0.1606 | 0.1606 | 3.5842 |
| 18 | 0.1574 | 0.1574 | 3.4929 |
| 19 | 0.1740 | 0.1740 | 3.5189 |
| 20 | 0.2561 | 0.2561 | 3.4841 |
| 21 | 0.2552 | 0.2914 | 3.2966 |
| 22 | 0.2586 | 0.2966 | 3.6393 |
| SAIFI_p | 0.1668 | | |
| SAIFI | 0.1672 | | |
| SAIDI | 3.4269 | | |

ตารางที่ ก.59 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6 รีเลย์แรงดันต่ำเกินมี
 ค่าแรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u. และค่า Time multiplier เป็น 1.0

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1522 | 0.1522 | 3.4133 |
| 2 | 0.1672 | 0.1672 | 3.7461 |
| 3 | 0.1681 | 0.1681 | 3.8128 |
| 4 | 0.1526 | 0.1526 | 3.2699 |
| 5 | 0.2531 | 0.2531 | 3.6140 |
| 6 | 0.2526 | 0.2526 | 3.6961 |
| 7 | 0.2551 | 0.2551 | 3.6259 |
| 8 | 0.1036 | 0.1036 | 0.4880 |
| 9 | 0.1466 | 0.1466 | 0.4990 |
| 10 | 0.1594 | 0.1594 | 3.5816 |
| 11 | 0.1669 | 0.1669 | 3.4760 |
| 12 | 0.1692 | 0.1692 | 3.5909 |
| 13 | 0.2584 | 0.2584 | 3.6237 |
| 14 | 0.2617 | 0.2617 | 3.5452 |
| 15 | 0.2489 | 0.2489 | 3.7476 |
| 16 | 0.1660 | 0.1660 | 3.4130 |
| 17 | 0.1578 | 0.1578 | 3.6376 |
| 18 | 0.1563 | 0.1563 | 3.1890 |
| 19 | 0.1695 | 0.1695 | 3.3158 |
| 20 | 0.2609 | 0.2609 | 3.6995 |
| 21 | 0.2586 | 0.2586 | 3.6432 |
| 22 | 0.2597 | 0.2597 | 3.6414 |
| SAIFI_p | 0.1651 | | |
| SAIFI | 0.1651 | | |
| SAIDI | 3.5307 | | |

ตารางที่ ก.60 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time
 multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.3

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1611 | 0.2469 | 3.5543 |
| 2 | 0.1740 | 0.2521 | 3.6745 |
| 3 | 0.1751 | 0.4793 | 3.7955 |
| 4 | 0.1596 | 0.4712 | 3.3807 |
| 5 | 0.2546 | 0.5323 | 3.5518 |
| 6 | 0.2530 | 0.5336 | 3.7748 |
| 7 | 0.2551 | 0.5312 | 3.4058 |
| 8 | 0.1422 | 0.1622 | 0.5187 |
| 9 | 0.1413 | 0.1611 | 0.4784 |
| 10 | 0.1577 | 0.1605 | 3.5325 |
| 11 | 0.1709 | 0.4225 | 3.7789 |
| 12 | 0.1714 | 0.4140 | 3.4788 |
| 13 | 0.2579 | 0.4805 | 3.6397 |
| 14 | 0.2604 | 0.4796 | 3.3812 |
| 15 | 0.2476 | 0.4790 | 3.3955 |
| 16 | 0.1664 | 0.2482 | 3.5837 |
| 17 | 0.1597 | 0.2019 | 3.5118 |
| 18 | 0.1568 | 0.4388 | 3.4883 |
| 19 | 0.1680 | 0.4325 | 3.6435 |
| 20 | 0.2627 | 0.4928 | 3.7385 |
| 21 | 0.2566 | 0.4904 | 3.4398 |
| 22 | 0.2596 | 0.4915 | 3.5793 |
| SAIFI_p | 0.1682 | | |
| SAIFI | 0.3414 | | |
| SAIDI | 3.6030 | | |

ตารางที่ ก.61 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time
 multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.4

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1571 | 0.4173 | 3.3079 |
| 2 | 0.1717 | 0.4178 | 3.6446 |
| 3 | 0.1686 | 0.5687 | 3.5483 |
| 4 | 0.1583 | 0.5626 | 3.6382 |
| 5 | 0.2623 | 0.6235 | 3.5888 |
| 6 | 0.2581 | 0.6233 | 3.5751 |
| 7 | 0.2609 | 0.6230 | 3.6621 |
| 8 | 0.1403 | 0.2778 | 0.5062 |
| 9 | 0.1426 | 0.2798 | 0.4934 |
| 10 | 0.1590 | 0.3425 | 3.5297 |
| 11 | 0.1651 | 0.5240 | 3.6072 |
| 12 | 0.1701 | 0.5154 | 3.3538 |
| 13 | 0.2607 | 0.5776 | 3.7797 |
| 14 | 0.2633 | 0.5764 | 3.5346 |
| 15 | 0.2484 | 0.5766 | 3.6101 |
| 16 | 0.1703 | 0.4014 | 3.7339 |
| 17 | 0.1585 | 0.3511 | 3.5995 |
| 18 | 0.1583 | 0.5137 | 3.4391 |
| 19 | 0.1682 | 0.5075 | 3.7676 |
| 20 | 0.2631 | 0.5677 | 3.8332 |
| 21 | 0.2606 | 0.5674 | 3.7741 |
| 22 | 0.2609 | 0.5667 | 3.6569 |
| SAIFI_p | 0.1663 | | |
| SAIFI | 0.4645 | | |
| SAIDI | 3.5333 | | |

ตารางที่ ก.62 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time
 multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.5

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1539 | 0.5486 | 3.1964 |
| 2 | 0.1681 | 0.5498 | 3.4552 |
| 3 | 0.1683 | 0.6281 | 3.3878 |
| 4 | 0.1585 | 0.6230 | 3.7718 |
| 5 | 0.2564 | 0.6808 | 3.4405 |
| 6 | 0.2517 | 0.6806 | 3.4022 |
| 7 | 0.2598 | 0.6817 | 3.7210 |
| 8 | 0.1266 | 0.3842 | 0.5196 |
| 9 | 0.1430 | 0.4180 | 0.4852 |
| 10 | 0.1563 | 0.5198 | 3.8441 |
| 11 | 0.1681 | 0.6148 | 3.6616 |
| 12 | 0.1697 | 0.6061 | 3.5326 |
| 13 | 0.2575 | 0.6670 | 3.6746 |
| 14 | 0.2578 | 0.6655 | 3.2682 |
| 15 | 0.2495 | 0.6671 | 3.8827 |
| 16 | 0.1696 | 0.5500 | 3.5695 |
| 17 | 0.1589 | 0.5018 | 3.6111 |
| 18 | 0.1613 | 0.5905 | 3.4738 |
| 19 | 0.1656 | 0.5815 | 3.2713 |
| 20 | 0.2619 | 0.6435 | 3.5172 |
| 21 | 0.2584 | 0.6438 | 3.5803 |
| 22 | 0.2651 | 0.6431 | 3.5484 |
| SAIFI_p | 0.1655 | | |
| SAIFI | 0.5733 | | |
| SAIDI | 3.4936 | | |

ตารางที่ ก.63 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
 ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time
 multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.6

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1525 | 0.625 | 3.5152 |
| 2 | 0.169 | 0.6253 | 3.6329 |
| 3 | 0.1686 | 0.6697 | 3.6592 |
| 4 | 0.1557 | 0.6615 | 3.4793 |
| 5 | 0.2582 | 0.7244 | 3.3794 |
| 6 | 0.2533 | 0.7248 | 3.4729 |
| 7 | 0.2571 | 0.7245 | 3.4738 |
| 8 | 0.1003 | 0.4919 | 0.4949 |
| 9 | 0.146 | 0.5357 | 0.5027 |
| 10 | 0.1573 | 0.6456 | 3.432 |
| 11 | 0.1665 | 0.6928 | 3.7379 |
| 12 | 0.1727 | 0.6849 | 3.6736 |
| 13 | 0.2555 | 0.7416 | 3.4129 |
| 14 | 0.2604 | 0.7432 | 3.6857 |
| 15 | 0.2467 | 0.7419 | 3.5633 |
| 16 | 0.1708 | 0.6538 | 3.5569 |
| 17 | 0.1641 | 0.6069 | 3.5473 |
| 18 | 0.1612 | 0.6492 | 3.52 |
| 19 | 0.1732 | 0.6429 | 3.6491 |
| 20 | 0.262 | 0.7021 | 3.7478 |
| 21 | 0.2589 | 0.7021 | 3.7585 |
| 22 | 0.2642 | 0.7012 | 3.5216 |
| SAIFI_p | 0.1671 | | |
| SAIFI | 0.6508 | | |
| SAIDI | 3.5909 | | |

ตารางที่ ก.64 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิง
ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time
multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.7

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | λ_p | λ | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.1547 | 0.6962 | 3.4332 |
| 2 | 0.1708 | 0.6971 | 3.7291 |
| 3 | 0.1670 | 0.7278 | 3.4946 |
| 4 | 0.1551 | 0.7188 | 3.4203 |
| 5 | 0.2609 | 0.7815 | 3.7213 |
| 6 | 0.2565 | 0.7816 | 3.6882 |
| 7 | 0.2629 | 0.7815 | 3.6724 |
| 8 | 0.1054 | 0.6132 | 0.5187 |
| 9 | 0.1412 | 0.6355 | 0.4728 |
| 10 | 0.1620 | 0.7543 | 3.8488 |
| 11 | 0.1692 | 0.7763 | 3.4697 |
| 12 | 0.1715 | 0.7710 | 3.6460 |
| 13 | 0.2552 | 0.8288 | 3.8053 |
| 14 | 0.2549 | 0.8275 | 3.6009 |
| 15 | 0.2452 | 0.8269 | 3.5513 |
| 16 | 0.1648 | 0.7382 | 3.5207 |
| 17 | 0.1549 | 0.6937 | 3.6073 |
| 18 | 0.1564 | 0.7209 | 3.4962 |
| 19 | 0.1687 | 0.7133 | 3.4051 |
| 20 | 0.2558 | 0.7721 | 3.4475 |
| 21 | 0.2538 | 0.7726 | 3.7099 |
| 22 | 0.2577 | 0.7712 | 3.5159 |
| SAIFI_p | 0.1660 | | |
| SAIFI | 0.7293 | | |
| SAIDI | 3.5681 | | |

ข. ผลการทดสอบสำหรับระบบทดสอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

ระบบทดสอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นระบบที่ประกอบไปด้วยจุดโหลด 30 จุด ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 6.1 ในบทที่ 6 โดยผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบระบบทดสอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ต่อระดับแรงดันตกเมื่อจุดโหลดติดตั้งรีเลย์แรงดันต่ำเกินรุ่น SPAU121C และ เบรกเกอร์ที่ต้นทางของฟีดเดอร์ทำงานตามฟังก์ชันการทำงานแบบอินเวอร์ส (Inverse Type)

ในหัวข้อนี้เราจะทำการพิจารณาเช่นเดียวกับหัวข้อ ก.4 เพียงแต่เปลี่ยนจากระบบทดสอบ บัส 2 มาเป็นระบบทดสอบที่ดัดแปลงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยจะทำการปรับตั้งค่า Time multiplier ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินไว้ที่ค่า 0.1 และปรับตั้งค่าแรงดัน Pick up ของรีเลย์แรงดันต่ำเกินและค่า Time multiplier ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่ค่าต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้มีค่าดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.70 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.4

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8264 | 0.8264 | 3.9490 | 16 | 0.3866 | 0.3866 | 6.5558 |
| 2 | 0.8254 | 0.8254 | 4.0079 | 17 | 0.3828 | 0.3828 | 4.2005 |
| 3 | 0.8259 | 0.8259 | 4.4510 | 18 | 0.3733 | 0.3733 | 4.2609 |
| 4 | 0.8392 | 0.8392 | 7.5074 | 19 | 0.3716 | 0.3716 | 4.3455 |
| 5 | 0.8261 | 0.8261 | 4.6816 | 20 | 0.3740 | 0.3740 | 4.8660 |
| 6 | 0.8252 | 0.8252 | 4.5463 | 21 | 0.5471 | 0.5471 | 3.5114 |
| 7 | 0.8255 | 0.8255 | 4.9361 | 22 | 0.5621 | 0.5621 | 7.0316 |
| 8 | 0.8266 | 0.8266 | 5.2018 | 23 | 0.5614 | 0.5614 | 1.7679 |
| 9 | 0.8259 | 0.8259 | 5.4540 | 24 | 0.5626 | 0.5626 | 4.7061 |
| 10 | 0.8256 | 0.8256 | 5.5579 | 25 | 0.5603 | 0.5603 | 6.8514 |
| 11 | 0.8261 | 0.8261 | 6.3181 | 26 | 0.5492 | 0.5492 | 5.0616 |
| 12 | 0.8271 | 0.8271 | 6.4846 | 27 | 0.5604 | 0.5604 | 7.3451 |
| 13 | 0.8267 | 0.8267 | 6.6825 | 28 | 0.5475 | 0.5475 | 5.0093 |
| 14 | 0.8238 | 0.8238 | 6.4780 | 29 | 0.5476 | 0.5476 | 5.2294 |
| 15 | 0.4345 | 0.4345 | 3.6419 | 30 | 0.5472 | 0.5472 | 5.4952 |
| SAIFI_p | 0.6418 | | | | | | |
| SAIFI | 0.6418 | | | | | | |
| SAIDI | 4.9512 | | | | | | |

ตารางที่ ข.2 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.80 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.4

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8271 | 0.8271 | 3.6350 | 16 | 0.3742 | 0.3822 | 7.1347 |
| 2 | 0.8278 | 0.8278 | 3.9991 | 17 | 0.3877 | 0.3856 | 4.0003 |
| 3 | 0.8253 | 0.8253 | 3.9617 | 18 | 0.3586 | 0.3664 | 4.2537 |
| 4 | 0.8448 | 0.8448 | 7.5414 | 19 | 0.3587 | 0.3670 | 4.6419 |
| 5 | 0.8303 | 0.8303 | 5.0083 | 20 | 0.3571 | 0.3654 | 4.4834 |
| 6 | 0.8306 | 0.8306 | 5.2870 | 21 | 0.5451 | 0.5534 | 3.6844 |
| 7 | 0.8297 | 0.8297 | 5.1803 | 22 | 0.5610 | 0.5688 | 7.0097 |
| 8 | 0.8324 | 0.8324 | 5.7826 | 23 | 0.5647 | 0.5654 | 1.7362 |
| 9 | 0.8319 | 0.8319 | 6.2805 | 24 | 0.5580 | 0.5660 | 4.2585 |
| 10 | 0.8282 | 0.8282 | 5.5551 | 25 | 0.5587 | 0.5662 | 6.8605 |
| 11 | 0.8305 | 0.8305 | 6.7187 | 26 | 0.5451 | 0.5532 | 4.7190 |
| 12 | 0.8289 | 0.8289 | 6.3660 | 27 | 0.5580 | 0.5660 | 7.6786 |
| 13 | 0.8297 | 0.8297 | 6.7527 | 28 | 0.5450 | 0.5530 | 5.0336 |
| 14 | 0.8305 | 0.8305 | 7.0988 | 29 | 0.5461 | 0.5541 | 5.6056 |
| 15 | 0.4234 | 0.4308 | 3.6797 | 30 | 0.5441 | 0.5516 | 5.4026 |
| SAIFI_p | 0.6403 | | | | | | |
| SAIFI | 0.6435 | | | | | | |
| SAIDI | 4.9202 | | | | | | |

ตารางที่ ข.3 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.4

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8316 | 0.8316 | 4.0503 | 16 | 0.3858 | 0.3994 | 5.1923 |
| 2 | 0.8303 | 0.8303 | 3.7822 | 17 | 0.3718 | 0.3928 | 4.4483 |
| 3 | 0.8299 | 0.8299 | 4.2843 | 18 | 0.3789 | 0.3926 | 4.7228 |
| 4 | 0.8436 | 0.8436 | 6.8981 | 19 | 0.3748 | 0.3894 | 4.0853 |
| 5 | 0.8330 | 0.8330 | 5.0314 | 20 | 0.3768 | 0.3912 | 4.7259 |
| 6 | 0.8319 | 0.8319 | 4.8486 | 21 | 0.5452 | 0.5598 | 3.9547 |
| 7 | 0.8348 | 0.8348 | 5.6915 | 22 | 0.5596 | 0.5731 | 7.3411 |
| 8 | 0.8307 | 0.8307 | 4.8845 | 23 | 0.5545 | 0.5678 | 1.8070 |
| 9 | 0.8312 | 0.8312 | 5.6582 | 24 | 0.5526 | 0.5668 | 4.1442 |
| 10 | 0.8305 | 0.8305 | 5.5922 | 25 | 0.5565 | 0.5698 | 7.5186 |
| 11 | 0.8328 | 0.8328 | 6.5763 | 26 | 0.5416 | 0.5558 | 4.2714 |
| 12 | 0.8332 | 0.8332 | 6.5175 | 27 | 0.5529 | 0.5671 | 6.7211 |
| 13 | 0.8346 | 0.8346 | 6.8585 | 28 | 0.5475 | 0.5616 | 5.7446 |
| 14 | 0.8296 | 0.8296 | 6.4113 | 29 | 0.5429 | 0.5569 | 5.1460 |
| 15 | 0.4375 | 0.4501 | 3.8929 | 30 | 0.5448 | 0.5578 | 5.7317 |
| SAIFI_p | 0.6425 | | | | | | |
| SAIFI | 0.6504 | | | | | | |
| SAIDI | 4.9768 | | | | | | |

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.70 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.7

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8120 | 0.9119 | 4.2862 | 16 | 0.3769 | 0.5199 | 7.3353 |
| 2 | 0.8130 | 0.9069 | 4.5610 | 17 | 0.3797 | 0.5112 | 4.1200 |
| 3 | 0.8138 | 0.9025 | 5.2102 | 18 | 0.3653 | 0.5180 | 4.5891 |
| 4 | 0.8286 | 0.9010 | 8.7559 | 19 | 0.3615 | 0.5187 | 4.1497 |
| 5 | 0.8111 | 0.9090 | 4.7757 | 20 | 0.3643 | 0.5115 | 4.8413 |
| 6 | 0.8122 | 0.8926 | 5.1968 | 21 | 0.5635 | 0.6618 | 3.9666 |
| 7 | 0.8076 | 0.8948 | 4.3168 | 22 | 0.5765 | 0.6617 | 6.8675 |
| 8 | 0.8109 | 0.8950 | 5.0406 | 23 | 0.5714 | 0.6711 | 1.8648 |
| 9 | 0.8108 | 0.8949 | 5.6291 | 24 | 0.5747 | 0.6718 | 4.6753 |
| 10 | 0.8127 | 0.8947 | 5.9155 | 25 | 0.5768 | 0.6716 | 7.2542 |
| 11 | 0.8111 | 0.8945 | 6.2306 | 26 | 0.5627 | 0.6715 | 4.7611 |
| 12 | 0.8100 | 0.8944 | 5.9822 | 27 | 0.5754 | 0.6728 | 7.5256 |
| 13 | 0.8144 | 0.8948 | 7.1317 | 28 | 0.5642 | 0.6715 | 5.3740 |
| 14 | 0.8108 | 0.8944 | 6.7756 | 29 | 0.5648 | 0.6717 | 5.8238 |
| 15 | 0.4215 | 0.5592 | 3.6207 | 30 | 0.5646 | 0.6714 | 6.2597 |
| SAIFI_p | 0.6380 | | | | | | |
| SAIFI | 0.7440 | | | | | | |
| SAIDI | 5.1496 | | | | | | |

ตารางที่ ข.5 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.80 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.7

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8239 | 0.9204 | 4.3489 | 16 | 0.3782 | 0.5271 | 7.1819 |
| 2 | 0.8208 | 0.9106 | 4.0358 | 17 | 0.3632 | 0.5208 | 4.3619 |
| 3 | 0.8236 | 0.9084 | 4.8830 | 18 | 0.3613 | 0.5099 | 3.9039 |
| 4 | 0.8354 | 0.9231 | 7.1511 | 19 | 0.3642 | 0.5193 | 4.6290 |
| 5 | 0.8225 | 0.9225 | 4.7804 | 20 | 0.3670 | 0.5220 | 5.1071 |
| 6 | 0.8239 | 0.9101 | 5.2658 | 21 | 0.5540 | 0.6840 | 3.7578 |
| 7 | 0.8203 | 0.9065 | 4.7238 | 22 | 0.5680 | 0.6939 | 6.9682 |
| 8 | 0.8241 | 0.9097 | 5.6082 | 23 | 0.5620 | 0.6863 | 1.7975 |
| 9 | 0.8217 | 0.9067 | 5.6591 | 24 | 0.5672 | 0.6957 | 4.9488 |
| 10 | 0.8207 | 0.9024 | 5.2644 | 25 | 0.5673 | 0.6916 | 7.4399 |
| 11 | 0.8205 | 0.9020 | 5.9971 | 26 | 0.5537 | 0.6821 | 4.7251 |
| 12 | 0.8232 | 0.9046 | 6.5331 | 27 | 0.5673 | 0.6957 | 7.4089 |
| 13 | 0.8211 | 0.9021 | 6.5950 | 28 | 0.5559 | 0.6825 | 5.5025 |
| 14 | 0.8207 | 0.9017 | 6.6840 | 29 | 0.5542 | 0.6809 | 5.3745 |
| 15 | 0.4262 | 0.5689 | 3.3848 | 30 | 0.5540 | 0.6780 | 5.7119 |
| SAIFI_p | 0.6389 | | | | | | |
| SAIFI | 0.7523 | | | | | | |
| SAIDI | 5.0400 | | | | | | |

ตารางที่ ข.6 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 0.7

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8127 | 0.9603 | 4.5730 | 16 | 0.3778 | 0.5985 | 7.0683 |
| 2 | 0.8120 | 0.9552 | 4.5627 | 17 | 0.3733 | 0.5904 | 3.9397 |
| 3 | 0.8134 | 0.9462 | 5.2653 | 18 | 0.3664 | 0.5871 | 4.5477 |
| 4 | 0.8276 | 0.9668 | 8.9207 | 19 | 0.3620 | 0.5858 | 3.9865 |
| 5 | 0.8106 | 0.9411 | 4.8561 | 20 | 0.3652 | 0.5890 | 4.8672 |
| 6 | 0.8113 | 0.9467 | 5.1340 | 21 | 0.5577 | 0.7230 | 3.9318 |
| 7 | 0.8071 | 0.9425 | 4.4524 | 22 | 0.5701 | 0.7316 | 6.9529 |
| 8 | 0.8101 | 0.9442 | 5.1013 | 23 | 0.5669 | 0.7267 | 1.8498 |
| 9 | 0.8089 | 0.9418 | 5.4486 | 24 | 0.5683 | 0.7330 | 4.6590 |
| 10 | 0.8108 | 0.9387 | 5.8026 | 25 | 0.5697 | 0.7296 | 6.9978 |
| 11 | 0.8097 | 0.9368 | 6.1646 | 26 | 0.5571 | 0.7218 | 4.8719 |
| 12 | 0.8088 | 0.9359 | 5.9957 | 27 | 0.5688 | 0.7335 | 7.4443 |
| 13 | 0.8129 | 0.9391 | 7.0362 | 28 | 0.5577 | 0.7213 | 5.2937 |
| 14 | 0.8092 | 0.9355 | 6.6677 | 29 | 0.5580 | 0.7219 | 5.6361 |
| 15 | 0.4257 | 0.6422 | 3.7553 | 30 | 0.5584 | 0.7177 | 6.1901 |
| SAIFI_p | 0.6354 | | | | | | |
| SAIFI | 0.7980 | | | | | | |
| SAIDI | 5.1130 | | | | | | |

ตารางที่ ข.7 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.70 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 1.0

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8378 | 0.9606 | 4.1253 | 16 | 0.3831 | 0.5353 | 6.2605 |
| 2 | 0.8376 | 0.9548 | 4.2343 | 17 | 0.3824 | 0.5345 | 4.3074 |
| 3 | 0.8383 | 0.9494 | 4.7679 | 18 | 0.3708 | 0.5228 | 4.3475 |
| 4 | 0.8532 | 0.9675 | 8.0001 | 19 | 0.3696 | 0.5271 | 4.3522 |
| 5 | 0.8372 | 0.9382 | 4.7595 | 20 | 0.3705 | 0.5279 | 4.7261 |
| 6 | 0.8387 | 0.9509 | 5.0827 | 21 | 0.5528 | 0.6955 | 3.7264 |
| 7 | 0.8346 | 0.9468 | 4.5914 | 22 | 0.5684 | 0.7066 | 7.2018 |
| 8 | 0.8364 | 0.9478 | 5.0825 | 23 | 0.5644 | 0.7009 | 1.8088 |
| 9 | 0.8378 | 0.9488 | 5.7714 | 24 | 0.5647 | 0.7061 | 4.4732 |
| 10 | 0.8375 | 0.9435 | 5.8068 | 25 | 0.5676 | 0.7043 | 7.7954 |
| 11 | 0.8371 | 0.9428 | 6.3555 | 26 | 0.5529 | 0.6938 | 4.8004 |
| 12 | 0.8380 | 0.9437 | 6.5653 | 27 | 0.5663 | 0.7072 | 8.0541 |
| 13 | 0.8398 | 0.9446 | 7.1502 | 28 | 0.5544 | 0.6942 | 5.4118 |
| 14 | 0.8378 | 0.9427 | 7.1160 | 29 | 0.5527 | 0.6924 | 5.3101 |
| 15 | 0.4377 | 0.5838 | 3.8869 | 30 | 0.5537 | 0.6895 | 5.717 |
| SAIFI_p | 0.6484 | | | | | | |
| SAIFI | 0.7778 | | | | | | |
| SAIDI | 5.1252 | | | | | | |

ตารางที่ ข.8 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.80 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 1.0

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8351 | 1.0084 | 4.1776 | 16 | 0.3953 | 0.6158 | 6.9191 |
| 2 | 0.8357 | 1.0025 | 4.3186 | 17 | 0.4072 | 0.6177 | 4.0973 |
| 3 | 0.8340 | 0.9959 | 4.4380 | 18 | 0.3802 | 0.6006 | 4.1364 |
| 4 | 0.8515 | 1.0160 | 8.2540 | 19 | 0.3833 | 0.6072 | 5.0202 |
| 5 | 0.8354 | 1.0181 | 4.9267 | 20 | 0.3808 | 0.6045 | 4.8568 |
| 6 | 0.8354 | 0.9981 | 4.9351 | 21 | 0.5532 | 0.7445 | 3.7330 |
| 7 | 0.8360 | 0.9987 | 5.2905 | 22 | 0.5658 | 0.7504 | 6.5483 |
| 8 | 0.8358 | 0.9981 | 5.5504 | 23 | 0.5666 | 0.7598 | 1.8176 |
| 9 | 0.8332 | 0.9951 | 5.3563 | 24 | 0.5669 | 0.7564 | 4.2459 |
| 10 | 0.8355 | 0.9936 | 5.9793 | 25 | 0.5671 | 0.7508 | 7.3217 |
| 11 | 0.8336 | 0.9913 | 6.1251 | 26 | 0.5534 | 0.7424 | 4.7251 |
| 12 | 0.8342 | 0.9919 | 6.2748 | 27 | 0.5701 | 0.7591 | 8.3178 |
| 13 | 0.8349 | 0.9923 | 6.6640 | 28 | 0.5536 | 0.7412 | 5.0002 |
| 14 | 0.8369 | 0.9943 | 7.3292 | 29 | 0.5526 | 0.7408 | 5.2835 |
| 15 | 0.4454 | 0.6627 | 3.9947 | 30 | 0.5530 | 0.7359 | 5.6287 |
| SAIFI_p | 0.6509 | | | | | | |
| SAIFI | 0.8338 | | | | | | |
| SAIDI | 5.0670 | | | | | | |

ตารางที่ ข.9 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการทำงานของรีเลย์แรงดันต่ำเกินมีค่า แรงดัน Pick up เป็น 0.90 p.u.และค่า Time multiplier เป็น 0.1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Time multiplier เป็น 1.0

| ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | | ตำแหน่ง โหลด | ดัชนีพื้นฐาน | | |
|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | | | U | | | | U |
| | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี | | ครั้งต่อปี | ครั้งต่อปี | ชั่วโมงต่อปี |
| 1 | 0.8123 | 1.0680 | 3.9256 | 16 | 0.3892 | 0.6858 | 6.0570 |
| 2 | 0.8129 | 1.0603 | 4.1683 | 17 | 0.3854 | 0.6842 | 4.3633 |
| 3 | 0.8113 | 1.0488 | 4.2312 | 18 | 0.3762 | 0.6726 | 4.3824 |
| 4 | 0.8260 | 1.0687 | 7.5722 | 19 | 0.3759 | 0.6763 | 4.5158 |
| 5 | 0.8108 | 1.0527 | 4.3470 | 20 | 0.3771 | 0.6775 | 4.8235 |
| 6 | 0.8142 | 1.0532 | 5.0264 | 21 | 0.5544 | 0.8247 | 3.5157 |
| 7 | 0.8120 | 1.0511 | 4.8504 | 22 | 0.5701 | 0.8344 | 6.9163 |
| 8 | 0.8136 | 1.0515 | 5.1752 | 23 | 0.5642 | 0.8259 | 4.8307 |
| 9 | 0.8123 | 1.0497 | 5.1555 | 24 | 0.5670 | 0.8355 | 4.2882 |
| 10 | 0.8140 | 1.0451 | 5.8176 | 25 | 0.5701 | 0.8321 | 7.6159 |
| 11 | 0.8120 | 1.0427 | 6.0881 | 26 | 0.5562 | 0.8244 | 4.9332 |
| 12 | 0.8144 | 1.0451 | 6.4486 | 27 | 0.5678 | 0.8360 | 7.5522 |
| 13 | 0.8154 | 1.0447 | 7.0530 | 28 | 0.5554 | 0.8223 | 5.1138 |
| 14 | 0.8136 | 1.0431 | 6.9701 | 29 | 0.5549 | 0.8212 | 5.2688 |
| 15 | 0.4371 | 0.7292 | 3.5643 | 30 | 0.5544 | 0.8152 | 5.5515 |
| SAIFI_p | 0.6383 | | | | | | |
| SAIFI | 0.8988 | | | | | | |
| SAIDI | 5.0056 | | | | | | |

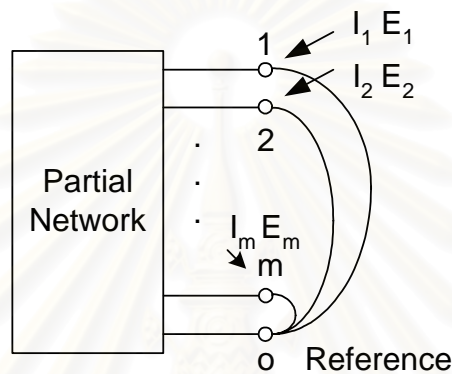
ค. กระบวนการในการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Algorithm for formation of bus impedance matrix)[23]

โดยการสมมติบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ Z_{BUS} ของระบบย่อยหนึ่งซึ่งมี m บัส และมีโนดอ้างอิงหนึ่งโนด (โนด 0) สมการที่แสดงคุณลักษณะของระบบซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ ค.1 คือ

$$E_{BUS} = Z_{BUS} I_{BUS} \tag{ค.1}$$

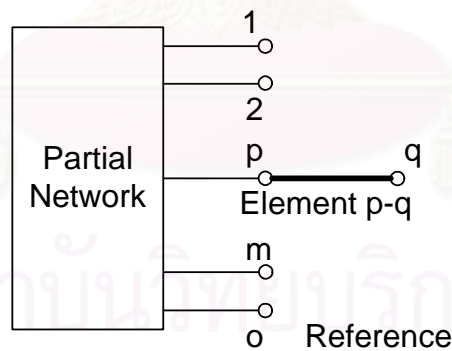
โดยที่ E_{BUS} = เวกเตอร์ขนาด $m \times 1$ ของแรงดันบัสซึ่งวัดอ้างอิงกับโนดอ้างอิง

I_{BUS} = เวกเตอร์ขนาด $m \times 1$ ของกระแสที่ไหลเข้าสู่บัส

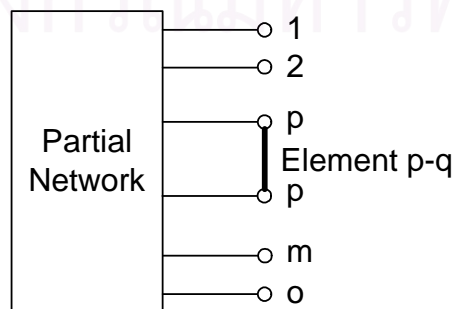


รูปที่ ค.1 แสดงลักษณะของระบบก่อนที่จะมีการเพิ่มขึ้นส่วน

เมื่อมีการเพิ่มขึ้นส่วน p - q เข้ากับระบบดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ค.1 ซึ่งชิ้นส่วนนี้อาจจะเป็น branch หรือ link ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ค.2(ก) และ ค.2(ข) ตามลำดับ



รูปที่ ค.2(ก) แสดงการเพิ่ม branch เข้าสู่ระบบ



รูปที่ ค.2(ข) แสดงการเพิ่ม link เข้าสู่ระบบ

ถ้าชิ้นส่วนที่เพิ่มเป็น branch ก็จะเป็นการเพิ่มบัส q ให้กับระบบเดิมทำให้ขนาดของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์เพิ่มขึ้นเป็น $(m+1) \times (m+1)$ และเพิ่มขนาดของเวกเตอร์กระแสและแรงดันเป็น $(m+1) \times 1$ จะทำการหาบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ใหม่จะคำนวณเพิ่มเพียงในตำแหน่งของแถวหรือคอลัมน์ใหม่เท่านั้น

ถ้าชิ้นส่วนที่เพิ่มเป็น link ก็จะไม่มีบัสใหม่เพิ่มให้กับระบบ ในกรณีนี้ขนาดของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ทุกตำแหน่งในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์จะต้องถูกคำนวณใหม่เพื่อรวมผลของการเพิ่ม link เข้าไป

ค.1 การเพิ่ม branch (Addition of a branch)

สมการที่แสดงคุณลักษณะของระบบที่มีการเพิ่ม branch p-q เป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_p \\ \dots \\ E_m \\ E_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1p} & \dots & Z_{1m} & Z_{1q} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2p} & \dots & Z_{2m} & Z_{2q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \dots & Z_{pp} & \dots & Z_{pm} & Z_{pq} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mp} & \dots & Z_{mm} & Z_{mq} \\ Z_{q1} & Z_{q2} & \dots & Z_{qp} & \dots & Z_{qm} & Z_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_p \\ \dots \\ I_m \\ I_q \end{bmatrix} \tag{ค.2}$$

ในการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ในการวิจัยนี้จะไม่คิดผลของการ Coupling ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีต่อกัน โดยสมมติว่าในระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เป็น bilateral passive element คือ $Z_{qi} = Z_{iq}$ และ $i = 1,2,3,\dots,m$ เป็นหมายเลขของบัสในระบบซึ่งเป็นระบบเดิมก่อนที่จะเพิ่ม branch p-q ซึ่งเป็น branch ใหม่

โดยที่ Z_{qi} สามารถคำนวณได้โดยการนิคกระแสไหลเข้าที่บัส i และคำนวณหาแรงดันที่บัส q ซึ่งเทียบกับโนดอ้างอิง โดยสมมติให้ค่ากระแสที่ไหลเข้าบัสที่เหลือเป็น 0 จากสมการที่(ค.2)จะได้

$$\begin{aligned} E_1 &= Z_{1i} I_i \\ E_2 &= Z_{2i} I_i \\ &\dots \dots \dots \\ E_p &= Z_{pi} I_i \\ &\dots \dots \dots \\ E_m &= Z_{mi} I_i \\ E_q &= Z_{qi} I_i \end{aligned} \tag{ค.3}$$

โดยที่ค่า I_q ในสมการที่ (ค.3) มีค่าเท่ากับ 1 p.u. ดังนั้น Z_{qi} สามารถคำนวณหาได้โดยตรง จากค่าแรงดัน E_q แต่แรงดันที่บัส q สามารถคำนวณได้จากแรงดันที่บัส p และแรงดันที่ตกคร่อม ชั้นส่วน $p-q$ ซึ่งจะได้ค่าแรงดันที่บัส q ตามสมการที่ (ค.4)

$$E_q = E_p - v_{pq} \tag{ค.4}$$

เนื่องจากค่ากระแสในชั้นส่วนใหม่มีค่าเป็น 0 ($I_{pq} = 0$) และชั้นส่วนที่เพิ่มเข้าไปใหม่ไม่มีการ Coupling กับชั้นส่วนอื่นในระบบ ดังนั้น $v_{pq} = 0$ และ $E_q = E_p$ ดังนั้นทำให้ได้ค่า

$$Z_{qi} = Z_{pi} \tag{ค.5}$$

และ $Z_{qi} = Z_{iq}$ โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, m$ i ไม่เท่ากับ q

ส่วนค่า Z_{qq} สามารถคำนวณโดยการนิลกระแสไหลเข้าที่บัส q และคำนวณแรงดันที่บัส q โดยให้ค่ากระแสที่ไหลเข้าที่บัสอื่นมีค่าเป็น 0 จากสมการที่ (ค.2) จะได้

$$\begin{aligned} E_1 &= Z_{1q} I_q \\ E_2 &= Z_{2q} I_q \\ &\dots\dots\dots \\ E_p &= Z_{pq} I_q \\ &\dots\dots\dots \\ E_m &= Z_{mq} I_q \\ E_q &= Z_{qq} I_q \end{aligned} \tag{ค.6}$$

โดยให้ค่า $I_q = 1$ p.u. แล้วหาค่า Z_{qq} จะหาได้จากค่าแรงดัน E_q ซึ่งแรงดันที่บัส p และ q จะมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการที่ (ค.4) และค่ากระแสที่ไหลในชั้นส่วน $p-q$ คือ $i_{pq} = -I_q = -1$ เนื่องจากชั้นส่วน $p-q$ ไม่มีการ coupling ดังนั้น $v_{pq} = i_{pq} z_{pq}$ ซึ่งค่า z_{pq} เป็นค่า อิมพีแดนซ์ของชั้นส่วน $p-q$

เนื่องจาก $E_q = E_p - v_{pq}$
 จะได้ $E_q = E_p - i_{pq} z_{pq}$ โดยที่ $E_q = Z_{qq} I_q$ และ $E_p = Z_{pq} I_q$
 เราก็จะสรุปได้ว่า $Z_{qq} I_q = Z_{pq} I_q - i_{pq} z_{pq}$ โดยที่ $I_q = -i_{pq} = 1$
 จะได้ว่า $Z_{qq} = Z_{pq} + z_{pq}$ (ค.7)

แต่ถ้า p เป็น โหนดอ้างอิง ก็จะได้

$$\begin{aligned} Z_{pi} &= 0 & i = 1, 2, \dots, m & \quad i \text{ ไม่เท่ากับ } q \\ Z_{qi} &= 0 & i = 1, 2, \dots, m & \quad i \text{ ไม่เท่ากับ } q \end{aligned} \tag{ค.8}$$

ดังนั้น $Z_{pq} = 0$ เราก็จะได้ $Z_{qq} = z_{pq}$

ค.2 การเพิ่ม link (Addition of a link)

ถ้าการเพิ่มขึ้นส่วน p-q เป็นการเพิ่ม link กระบวนการสำหรับการคำนวณค่าส่วนประกอบของบัสอิมพีแดนซ์ใหม่โดยการสมมติว่ามีแหล่งจ่ายแรงดัน e_i ต่ออนุกรมเข้ากับชิ้นส่วน p-q ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นส่วน p-q เข้าที่บัส p-q แล้วทำการสร้างโหนดปลอมขึ้น 1 โหนด ซึ่งสามารถกำจัดได้ในภายหลัง และขนาดของแรงดันของแหล่งจ่ายแรงดัน e_l จะถูกเลือกเพื่อปรับให้ค่ากระแสที่ไหลในชิ้นส่วน p-q มีค่าเป็น 0

ดังนั้นสมการที่แสดงคุณลักษณะของระบบที่มีการเพิ่มขึ้นส่วน p-1 และแหล่งจ่ายแรงดันที่ต่ออนุกรมเข้าไปเป็นดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_p \\ \dots \\ E_m \\ e_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1p} & \dots & Z_{1m} & Z_{1q} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2p} & \dots & Z_{2m} & Z_{2q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \dots & Z_{pp} & \dots & Z_{pm} & Z_{pq} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mp} & \dots & Z_{mm} & Z_{mq} \\ Z_{l1} & Z_{l2} & \dots & Z_{lp} & \dots & Z_{lm} & Z_{ll} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_p \\ \dots \\ I_m \\ I_l \end{bmatrix} \quad (\text{ค.9})$$

$$\text{ดังนั้น} \quad e_l = E_l - E_q$$

ค่า Z_{ii} สามารถคำนวณหาได้โดยการใส่กระแสไหลเข้าที่บัส i แล้วคำนวณหาแรงดันที่บัส i เทียบกับบัส q โดยที่ ค่ากระแสที่ไหลเข้าที่บัสที่เหลือเท่ากับ 0 เมื่อพิจารณาสมการที่ (ค.9) จะได้ว่า

$$E_k = Z_{ki} I_i \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (\text{ค.10})$$

$$e_l = Z_{li} I_i$$

โดยให้ค่า $I_i = 1 \text{ p.u.}$ ในสมการที่ (ค.10) Z_{ii} สามารถคำนวณได้โดยตรงจากการคำนวณค่า e_l ดังนั้นค่า e_l จะได้ว่า

$$e_l = E_p - E_q - v_{pl} \quad (\text{ค.11})$$

เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน link p-q มีค่าเป็น 0 ($i_{pq} = 0$) เนื่องจากชิ้นส่วน p-q ที่เพิ่มเข้าไปไม่มีการ coupling กับชิ้นส่วนอื่นในระบบ และ $i_{pq} = i_{pl} = 0$ ดังนั้นจะได้ค่า $v_{pq} = 0$ ทำให้ได้ค่า

$$Z_{li} I_i = Z_{pi} e_i - Z_{qi} e_i \quad (\text{ค.12})$$

เนื่องจาก $I_i = 1 \text{ p.u.}$ จะได้ $Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi} \quad i = 1, 2, \dots, m, i \neq l$

และ $Z_{li} = Z_{il}$

ส่วนค่า Z_{ll} สามารถคำนวณได้โดยการใส่กระแสเข้าที่บัส 1 แล้วคำนวณค่าแรงดันที่บัส 1 เทียบกับ บัส q โดยให้ค่ากระแสที่ไหลเข้าบัสที่เหลือเท่ากับ 0 เมื่อพิจารณากับสมการที่ (ค.9) จะได้

$$E_k = Z_{kl} I_l \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (\text{ค.13})$$

$$E_l = Z_{ll} I_l$$

โดยให้ค่า $I_l = 1$ p.u. ในสมการที่ (ค.13) Z_{ll} จะสามารถคำนวณได้โดยตรงจากการคำนวณค่า e_l ค่ากระแสในชิ้นส่วน p-1 จะเป็นดังนี้คือ $I_{pl} = -I_l = -1$ เนื่องจากชิ้นส่วน p-1 ไม่มีการ coupling ดังนั้น $v_{pl} = i_{pl} z_{pl}$ ซึ่งค่า z_{pl} เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของชิ้นส่วน p-1 และค่า $z_{pq} = z_{pl}$ ดังนั้นจะได้ผลดังนี้

เนื่องจาก $e_l = E_p - E_q - v_{pl}$

จะได้ $e_l = E_p - E_q - i_{pl} z_{pl}$

โดยที่ $E_p = Z_{ql} I_l, E_q = Z_{pl} I_l$

และ $e_l = Z_{ll} I_l$

เราก็จะสรุปได้ว่า $Z_{ll} i_l = Z_{pl} I_l - Z_{ql} I_l - i_{pl} z_{pl}$ โดยที่ $I_q = -i_{pq} = I$ และ $z_{pq} = z_{pl}$

แล้วจะได้ว่า $Z_{ll} = Z_{pl} - Z_{ql} + z_{pq}$ (ค.14)

แต่ถ้า p เป็น โหนดอ้างอิงก็ได้

$$Z_{pi} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad i \neq q$$

$$Z_{li} = -Z_{qi} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad i \neq q \quad (\text{ค.15})$$

ดังนั้น $Z_{pl} = 0$ เราก็จะได้ $Z_{ll} = -Z_{ql} + z_{pq}$

เนื่องจาก โหนด 1 เป็น โหนดปลอมที่สร้างขึ้น เพื่อการคำนวณผลของการเพิ่ม link เมื่อคำนวณเสร็จก็จะทำการกำจัด โหนด 1 ออกจากบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ ก็คือการกำจัดสมาชิกในแถวที่ 1 และ คอลัมน์ที่ 1 ออกจากบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์

การกำจัด โหนด 1 ซึ่งเป็น โหนดปลอมออกจากบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ โดยการทำการลัดวงจร แหล่งจ่ายแรงดัน e_l จากสมการที่ (ค.9) จะได้ว่า

$$E_{BUS} = Z_{BUS} I_{BUS} + Z_{il} I_l \quad (\text{ค.16})$$

$$e_l = Z_{il} I_{BUS} + Z_{ll} I_l \quad (\text{ค.17})$$

ซึ่ง $i, j = 1, 2, \dots, m$ แก่สมการที่ (ค.17) เพื่อหาค่า I_l นำไปแทนค่าในสมการที่ (ค.16) จะได้

$$E_{BUS} = \left(Z_{BUS} - \frac{\overline{Z_{il}} \overline{Z_{lj}}}{Z_{ll}} \right) I_{BUS} \quad (\text{ค.18})$$

ดังนั้นค่าบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์หลังจากกำจัด โหนด 1 จะได้ดังนี้คือ

$$Z_{BUS(modified)} = Z_{BUS} - \frac{\overline{Z_{il}} \overline{Z_{lj}}}{Z_{ll}} \quad (\text{ค.19})$$

ค.3 การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนออกจากระบบ

จากระบวนการที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้เป็นการเพิ่มขึ้นส่วนเข้าสู่ระบบ ในส่วนนี้จะพิจารณาถึงการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนออกจากระบบทำให้ค่าบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์เปลี่ยนค่าไป ส่วนกระบวนการในการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนออกจากระบบ ก็คล้ายกระบวนการเพิ่มขึ้นส่วนเข้าสู่ระบบ ซึ่งถ้าต้องการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนออกจากระบบและชิ้นส่วนดังกล่าวไม่มีการ coupling กับชิ้นส่วนอื่น ๆ ในระบบ บัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์จะถูกคำนวณหาค่าใหม่โดยการต่ออิมพีแดนซ์คร่อมชิ้นส่วนที่ต้องการเคลื่อนย้ายออกจากระบบซึ่งคือการเพิ่ม link เข้าสู่ระบบ โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์ที่ link เข้าไปใหม่จะมีค่าเป็นลบของค่าอิมพีแดนซ์ของชิ้นส่วนที่ต้องการนำออกจากระบบ ซึ่งหลักการเพิ่ม link ดูได้จากหัวข้อการเพิ่ม link



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐวุฒิ จินตวิวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2523 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2544 จากนั้นได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย